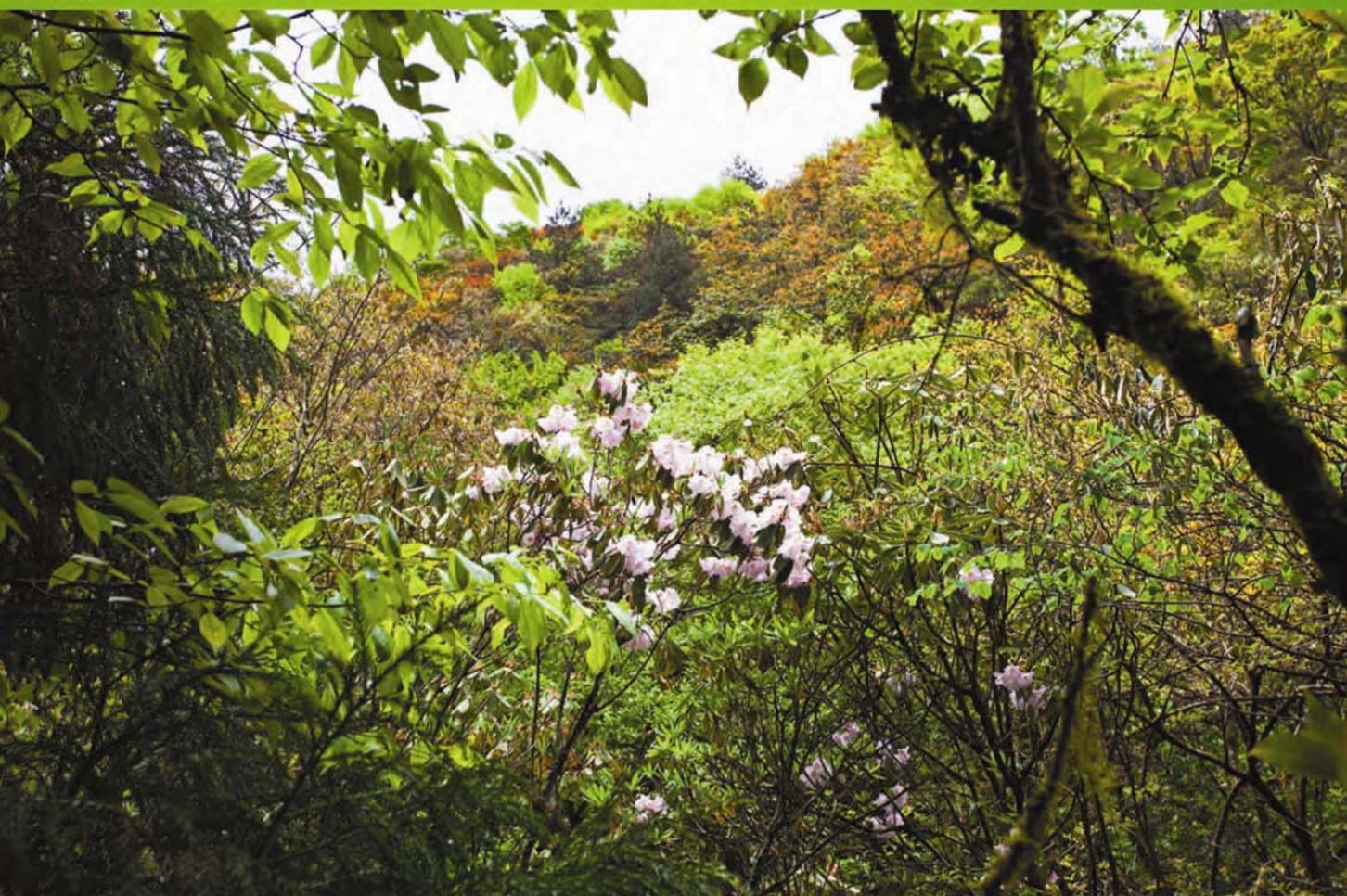


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 21 期 Vol.33 No.21 **2013**

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 33 卷 第 21 期 2013 年 11 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 生态系统生产总值核算:概念、核算方法与案例研究····· 欧阳志云,朱春全,杨广斌,等 (6747)
- 气候变化对传染病爆发流行的影响研究进展····· 李国栋,张俊华,焦耿军,等 (6762)
- 好氧甲烷氧化菌生态学研究进展····· 负娟莉,王艳芬,张洪勋 (6774)
- 氮沉降强度和频率对羊草叶绿素含量的影响····· 张云海,何念鹏,张光明,等 (6786)
- 世界蜘蛛的分布格局及其多元相似性聚类分析····· 申效诚,张保石,张 锋,等 (6795)
- 风向因素对转基因抗虫棉花基因漂移效率的影响····· 朱家林,贺 娟,牛建群,等 (6803)

个体与基础生态

- 长江口及东海春季底栖硅藻、原生动物和小型底栖生物的生态特点····· 孟昭翠,徐奎栋 (6813)
- 长江口横沙东滩围垦潮滩内外大型底栖动物功能群研究····· 吕巍巍,马长安,余 骥,等 (6825)
- 沔阳沿岸土壤和优势植物重金属富集特征和潜在生态风险····· 杨 阳,周正朝,王欢欢,等 (6834)
- 盐分和底物对黄河三角洲区土壤有机碳分解与转化的影响····· 李 玲,仇少君,檀菲菲,等 (6844)
- 短期夜间低温胁迫对秋茄幼苗碳氮代谢及其相关酶活性的影响····· 郑春芳,刘伟成,陈少波,等 (6853)
- 32 个切花菊品种的耐低磷特性····· 刘 鹏,陈素梅,房伟民,等 (6863)
- 年龄和环境条件对泥蚶富集重金属镉和铜的影响····· 王召根,吴洪喜,陈肖肖,等 (6869)
- 角倍蚜虫瘦对盐肤木光合特性和总氮含量的影响····· 李 杨,杨子祥,陈晓鸣,等 (6876)
- 多噬伯克霍尔德氏菌 WS-FJ9 对草甘膦的降解特性····· 李冠喜,吴小芹,叶建仁 (6885)
- 金龟甲对蓖麻叶挥发物的触角电位和行为反应····· 李为争,杨 雷,申小卫,等 (6895)

种群、群落和生态系统

- 白洋淀生态系统健康评价····· 徐 菲,赵彦伟,杨志峰,等 (6904)
- 珠海鹤洲水道沿岸红树林湿地大型底栖动物群落特征····· 王 卉,钟 山,方展强 (6913)
- 典型森林和草地生态系统呼吸各组分间的相互关系····· 朱先进,于贵瑞,王秋风,等 (6925)
- 抚育间伐对油松人工林下大型真菌的影响····· 陈 晓,白淑兰,刘 勇,等 (6935)
- 百山祖自然保护区植物群落 beta 多样性····· 谭珊珊,叶珍林,袁留斌,等 (6944)
- 土霉素对堆肥过程中酶活性和微生物群落代谢的影响····· 陈智学,谷 洁,高 华,等 (6957)

景观、区域和全球生态

- 兴安落叶松针叶解剖结构变化及其光合能力对气候变化的适应性····· 季子敬,全先奎,王传宽 (6967)
- 盐城海滨湿地景观演变关键土壤生态因子与阈值研究····· 张华兵,刘红玉,李玉凤,等 (6975)

半干旱区沙地芦苇对浅水位变化的生理生态响应 马赞花,张铜会,刘新平 (6984)

SWAT 模型融雪模块的改进 余文君,南卓铜,赵彦博,等 (6992)

科尔沁沙地湖泊消涨对气候变化的响应 常学礼,赵学勇,王 玮,等 (7002)

贝壳堤岛 3 种植被类型的土壤颗粒分形及水分生态特征 夏江宝,张淑勇,王荣荣,等 (7013)

三峡库区古夫河着生藻类叶绿素 a 的时空分布特征及其影响因素 吴述园,葛继稳,苗文杰,等 (7023)

资源与产业生态

煤炭开发对矿区植被扰动时空效应的图谱分析——以大同矿区为例 黄 翌,汪云甲,李效顺,等 (7035)

学术信息与动态

《中国当代生态学研究》新书推介 刘某承 (7044)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 30 * 2013-11



封面图说: 百山祖保护区森林植物群落——百山祖国家级自然保护区位于浙西南闽浙交界处,由福建武夷山向东北伸展而成,主峰海拔 1856.7m,为浙江省第二高峰。其独特的地形和水文地理环境形成了中亚热带气候区中一个特殊的区域,保存着十分丰富的植物种质资源以及国家重点保护野生动植物种,尤其是 1987 年由国际物种保护委员会列为世界最濒危的 12 种植物之一的百山祖冷杉,是第四纪冰川的孑遗植物,素有“活化石”之称。随着海拔的升高,其植被为常绿阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林、针阔混交林、针叶林、山地矮林和山地灌草丛。

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/stxb201310092428

欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 徐卫华, 郑华, 张琰, 肖焱. 生态系统生产总值核算: 概念、核算方法与案例研究. 生态学报, 2013, 33(21): 6747-6761.

Ouyang Z Y, Zhu C Q, Yang G B, Xu W H, Zheng H, Zhang Y, Xiao Y. Gross ecosystem product: concept, accounting framework and case study. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(21): 6747-6761.

生态系统生产总值核算: 概念、核算方法与案例研究

欧阳志云^{1,*}, 朱春全², 杨广斌^{1,3}, 徐卫华¹, 郑华¹, 张琰², 肖焱¹

(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. 世界自然保护联盟北京代表处, 北京 100600; 3. 贵州师范大学, 贵阳 550001)

摘要: 生态系统产品与服务功能是人类生存与发展的基础。生态系统生产总值(GEP)可以定义为生态系统为人类福祉和经济社会可持续发展提供的产品与服务价值的总和, 包括生产系统产品价值、生态调节服务价值和生态文化服务价值。生态系统生产总值核算的基本任务有 3 个, 即核算生态系统产品与服务的功能量、确定生态系统产品与服务的价格、核算生态系统产品与服务的价值量。生态系统生产总值核算可以用于揭示生态系统为经济社会发展和人类福祉的贡献, 分析区域之间的生态关联, 评估生态保护成效和效益。以贵州省为例, 探讨了生态系统生产总值核算的应用方法, 评价了贵州省生态系统为贵州和其他地区人们福祉和支撑经济社会发展所提供的产品和服务及其经济价值总和。评价结果显示, 贵州省 2010 年全省生态系统生产总值为 20013.46 亿元, 人均 GEP 57526 元, 是当年该省国民生产总值和人均 GDP 的 4.3 倍。研究表明, 生态系统生产总值的核算可以反映生态系统对经济社会发展的支撑作用, 并为建立生态系统保护效益与成效的考核机制提供基础。

关键词: 生态系统生产总值; 生态系统服务功能; 核算; 贵州省

Gross ecosystem product: concept, accounting framework and case study

OUYANG Zhiyun^{1,*}, ZHU Chunquan², YANG Guangbin^{1,3}, XU Weihua¹, ZHENG Hua¹, ZHANG Yan², XIAO Yi¹

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

2 The International Union for Conservation of Nature China, Beijing 100600, China

3 Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China

Abstract: Ecosystem products and services are essentials for human survival and development. Gross ecosystem product (GEP) is defined as total values of ecosystem products and services for human welfare and sustainable development. GEP mainly refers to the total value of direct and indirect use values of ecosystem goods and services, including ecosystem provision value, ecological regulation services value and ecological culture services value. The purposes of GEP accounting are to analyze and evaluate the total of economic value supporting for human survival and well-being. There are three basic tasks in GEP accounting, including functional value accounting, figuring out prices and economic value accounting of the ecosystem products and services. Accounting of GEP can be used to reveal the ecosystem contributions to economic and social development and human welfare, analyze the ecological linkages between regions, and assess the effectiveness and benefit of ecosystem conservation. In this paper, GEP of Guizhou Province was accounted as a case study. The evaluation results showed that the GEP of Guizhou in 2010 was 200134.6 million Yuan, the GEP per capita was 57526 Yuan, which was 4.3 times that of the GDP and per capita GDP. The study suggested that, ecosystems played a great role in supporting economic and social development of Guizhou. GEP accounting provides an instrument to understand and assess efficiency

基金项目: 环境保护部与中国科学院专项“全国生态环境十年(2000—2010年)变化遥感调查与评估专项”(STSN-04-00)

收稿日期: 2013-10-09; 修订日期: 2013-11-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyouyang@rcees.ac.cn

and effectiveness of ecosystem protection management and restoration.

Key Words: Gross Ecosystem Product (GEP); ecosystem services; ecosystem accounting; Guizhou Province

生态系统组分及其生态过程不仅创造与维持了地球生命支持系统,形成了人类生存与发展所必需的条件,还为人类提供了生活与生产所必需的食品、医药、木材及工农业生产的原材料,生态系统的产品与服务功能是人类生存与发展基础^[1-2]。但在经济社会的发展过程中,资源开发、土地利用改变、大规模工程建设、环境污染等导致生态系统破坏与生态服务功能退化,及其引发的一系列生态环境问题的加剧,成为经济社会可持续发展和人类生存条件的主要威胁。20世纪60年代的环境运动、1987年联合国发布的《我们共同的未来》、1992年巴西里约热内卢环境与发展大会通过的《二十一世纪议程》,以及以后的国际社会对推动可持续发展的努力,虽对遏制环境污染取得了成效,但生态系统退化,尤其是生态系统服务功能的退化仍在继续,据全球《千年生态系统评估》结果,全球仍有60%的生态系统服务功能退化^[3]。这表明自1960年代以来的环境保护运动,全球在生态保护方面尚未取得根本性突破,生态系统退化和人类生命支持系统退化的趋势还未得到有效的遏制,世界各国仍缺乏有效的生态保护机制。决策者以及全社会还没有充分认识和了解生态系统及其服务功能对人类经济社会发展基础性支撑作用是导致全球生态保护进展缓慢的重要原因。

自1990年代以来,生态学家开始认识到生态系统服务功能对地球生命支持系统的作用和人类生存与发展的支撑作用,开展了生态系统服务功能研究^[1],评价各类生态系统对人类福祉的贡献,联合国启动了《千年生态系统评估》计划,旨在通过在全球范围开展生态系统服务功能的评价,将生态学保护的目标整合到经济社会决策之中^[4]。生态系统服务功能评估与生态系统核算成为当前生态学与生态经济学的前沿领域和全球热点领域,许多研究对全球、不同国家和地区、区域开展的生态系统服务价值的评估^[2,5-7]。这些研究初步建立了生态系统服务功能评价理论框架,探索了不同生态系统、不同服务功能类型评估方法^[8-9],更重要的是促进了人们对生态系统及其服务功能重要性的认识。但如何以生态系统服务功能评价的成果为基础,将生态效益纳入经济社会发展评价体系,建立体现生态文明要求的目标体系、考核办法^[10],引导全社会参与保护生态系统、恢复生态服务功能、遏制生存环境的恶化已成为政府和社会各界关心的重大课题。

人类社会与其赖以发展的生态环境构成经济-社会-自然复合生态系统^[11-12]。为了核算人类经济活动的成果,建立了国民经济核算体系,以“国内生产总值”(GDP)为主要核算指标,用以衡量一个国家或地区在一定时期内生产和提供的最终产品和服务的总价值,GDP已成为世界各国应用最普遍的经济核算指标^[13]。为了评价社会发展水平,人们探索了多种社会发展评价指标或指标体系,其中广泛应用的有国民幸福指数(GNH),以衡量一个国家或地区居民生活水平、社会公平性、发展机会等方面的状况^[14]。也有许多研究,试图将经济与社会发展状况进行综合评价,其中得到国际上广泛关注的有联合国发布的“人类发展指数”(HDI),该指数综合健康、教育和生活水平三个方面,对一个国家或地区的经济社会发展的综合状况进行评价^[15],联合国开发计划署每年发布报告,对成员国的人类发展状况进行评估和公布^[16]。但对生态系统为人类生存与发展提供的服务尚缺乏普遍接受的核算指标,以及与国民经济统计相匹配的核算制度。研究与建立一个独立的核算一个国家或地区的生态系统为人类提供的产品与服务的方法与体系,是当前社会各界广泛关注的议题。

发达和发展中国家都在寻求超越GDP的核算指标,以体现生态系统对人类福祉的贡献。一些国家正在进行自然资本核算的试点^[17]。2012年2月,联合国统计委员会批准了“环境经济核算体系(SEEA)核心框架”,期望世界各国将来如同采纳国民经济核算体系一样执行“环境经济核算体系核心框架”^[18]。2013年联合国统计委员会又进一步采纳了“环境经济核算体系试验性生态系统核算”^[19]。英国在2011年组织了500多位科学家对英格兰、苏格兰、北爱尔兰和威尔士进行了全面的生态系统评估^[20]。澳大利亚的维多利亚省也在SEEA框架下对土地和生态系统核算的实践进行了总结^[21]。国际上生态系统核算的方法尚处于试验阶

段,需要更多的研究来评估生态系统服务所有方面的价值。无论是“绿色 GDP”、还是英国的生态系统评估与澳大利亚土地和生态系统核算均是在 SEEA 的框架下开展的,也都没有把生态系统生产总值作为一个独立的核算指标明确地提出来。本文拟在生态系统产品与服务评价研究成果的基础上,探讨生态系统生产总值的概念与内涵,分析生态系统产品与服务的类型和核算方法,以期为建立体现生态系统对人类福祉的贡献、生态系统保护成效与效益的评价机制提供参考。

1 生态系统生产总值的概念与内涵

生态系统生产总值(GEP)可以定义为生态系统为人类提供的产品与服务价值的总和。

生态系统主要包括森林、湿地、草地、荒漠、海洋、农田、城市等 7 个类型。生态系统产品与服务是指生态系统与生态过程为人类生存、生产与生活所提供的条件与物质资源(表 1)。生态系统产品包括生态系统提供的可为人类直接利用的食物、木材、纤维、淡水资源、遗传物质等。生态系统服务包括形成与维持人类赖以生存和发展的条件等,包括调节气候、调节水文、保持土壤、调蓄洪水、降解污染物、固碳、产氧、植物花粉的传播、有害生物的控制、减轻自然灾害等生态调节功能,以及源于生态系统组分和过程的文学艺术灵感、知识、教育和景观美学等生态文化功能。

表 1 生态系统产品与服务类型
Table 1 Ecosystem products and services

类型 Types	产品与服务(举例) Products and Services(examples)
生态系统产品 Ecosystem products	食物:粮食、蔬菜、水果、肉、蛋、奶、水产品等 原材料:药材、木材、纤维、淡水、遗传物质等 能源:生物能、水能、潮汐能、风能、热能等 其它:花卉、苗木、装饰材料
生态调节服务 Ecological regulation services	调节功能:涵养水源、调节气候、固碳、氧生产、保持土壤、降解污染物、传粉等 防护功能:防风固沙、调蓄洪水、控制有害生物、预防与减轻风暴灾害等
生态文化服务 Ecological culture services	景观价值:旅游价值、美学价值等 文化价值:文化认同、知识、教育、艺术灵感等

核算生态系统生产总值,就是分析与评价生态系统为人类生存与福祉提供的产品与服务的经济价值。生态系统生产总值是生态系统产品价值、调节服务价值和文化服务价值之总和。在生态系统服务功能价值评估中,通常将生态系统产品价值称为直接使用价值,将调节服务价值和文化服务价值称为间接使用价值。生态系统生产总值核算通常不包括生态支持服务功能,如有机质生产、土壤及其肥力的形成、营养物质循环、生物多样性维持等功能,原因是这些功能支撑了产品提供功能与生态调节功能,而不是直接为人类的福祉做出贡献,这些功能的作用已经体现在产品功能与调节功能之中。

GEP 的概念是借鉴国内生产总值(GDP)概念提出的,生态系统生产总值的核算目的是评价与分析生态系统对人类经济社会发展支撑作用,以及对人类福祉的贡献。通过生态系统生产总值的核算还可以认识和了解生态系统的状况以及变化。生态系统生产总值是与国内生产总值平行的核算指标,前者关注的是生态系统的运行状况,后者关注的是经济系统运行的状况。保罗·萨缪尔森曾指出“正如人造卫星可以探测到地球上各大洲天气一样,GDP 可以给你一幅经济运行状态的总体图画”^[22],类似地 GEP 核算可以描绘一幅生态系统运行的总体图画。

生态系统生产总值一词首次出现在 2012 年,朱春全提出把自然生态系统的生产总值纳入可持续发展的评估核算体系,以生态系统生产总值来评估生态状况。建立一个与 GDP 相对应的、能够衡量生态状况的评估与核算指标,即生态系统生产总值^[23]。Mark Eigenraam 等也提出生态系统生产总值(GEP)一词,他们将其定义为生态系统产品与服务在生态系统之间的净流量^[24]。欧阳志云、朱春全等认为 GEP 是生态系统为人类提供的产品与服务价值的总和,通过建立国家或区域 GEP 的核算制度,可以评估其森林、草原、荒漠、湿地和海洋等生态系统以及农田、牧场、水产养殖场和城市绿地等人工生态系统的生产总值,来衡量和展示生态系统的

状况及其变化^[19]。

2 生态系统生产总值的核算思路

生态系统生产总值核算的思路是源于生态系统服务功能及其生态经济价值评估与国内生产总值核算。根据生态系统服务功能评估的方法,生态系统生产总值可以从生态功能量和生态经济价值量两个角度核算。生态功能量可以用生态系统功能表现的生态产品与生态服务量表达,如粮食产量、水资源提供量、洪水调蓄量、污染净化量、土壤保持量、固碳量、自然景观吸引的旅游人数等,其优点是直观,可以给人明确具体的印象,但由于计量单位的不同,不同生态系统产品产量和服务量难以加总。因此,仅仅依靠功能量指标,难以获得一个地区以及一个国家在一段时间的生态系统产品与服务产出总量。为了获得生态系统生产总值,就需要借助价格^[22],将不同生态系统产品产量与服务量转化为货币单位表示产出,然后加总为生态系统生产总值。因此生态系统生产总值核算的基本任务有 3 个(图 1):

一是生态系统产品与服务的功能量核算,即统计生态系统在一定时间内提供的各类产品的产量、生态调节功能量和生态文化功能量,如生态系统提供的粮食产量、木材产量、水电发电量、土壤保持量、污染物净化量等。尽管尚未建立生态系统服务功能监测体系,然而大多数生态系统产品产量可以通过现有的经济核算体系获得,部分生态系统调节服务功能量可以通过现有水文、环境、气象、森林、草地、湿地监测体系获得,部分生态系统服务功能量可以通过生态系统模型估算。生态系统及其要素的监测体系,生态系统长期监测、水文监测、气象台站、环境监测网络等可以为生态系统产品与服务功能量的核算提供数据和参数。

二是确定各类生态系统产品与服务功能的价格,如单位木材的价格、单位水资源量价格、单位土壤保持量的价格等。自 1990 年代以来,在生态调节服务和文化服务的价格确定方面取得巨大进展,根据生态系统服务功能类型,建立了不同的定价方法,主要有替代市场技术和模拟市场技术。替代市场技术是以“影子价格”和消费者剩余来表达生态系统服务功能的价格和经济价值,其具体定价方法有费用支出法、市场价值法、机会成本法、旅行费用法等,在评价中可以根据生态系统服务功能类型进行选择。模拟市场技术(又称假设市场技术),它以支付意愿和净支付意愿来表达生态服务功能的经济价值,在实际研究中,从消费者的角度出发,通过调查、问卷、投标等方式来获得消费者的支付意愿和净支付意愿,综合所有消费者的支付意愿和净支付意愿来估计生态系统服务功能的经济价值^[7]。

三是生态系统产品与服务的功能量核算,在生态系统产品与服务功能量核算的基础上,核算生态系统产品与服务总经济价值。可以用式(1)计算一个地区或国家的生态系统生产总值。

$$GEP = EPV + ERV + ECV \tag{1}$$

$$EPV = \sum_{i=1}^n EP_i \times P_i \tag{2}$$

$$ERV = \sum_{j=1}^m ER_j \times P_j \tag{3}$$

$$ECV = \sum_{k=1}^l EC_k \times P_k \tag{4}$$

式中,GEP 为生态系统生产总值,EPV 为生态系统产品价值,ERV 为生态系统调节服务价值,ECV 为生态文化服务价值。EP_i为第 i 类生态系统产品产量,P_i为第 i 类生态系统产品的价格;ER_j为第 j 类生态系统调节服务功能量,P_j为第 j 类生态系统调节服务功能的价格;EC_k为第 k 类生态系统文化服务功能量,P_k为第 k 类生态系

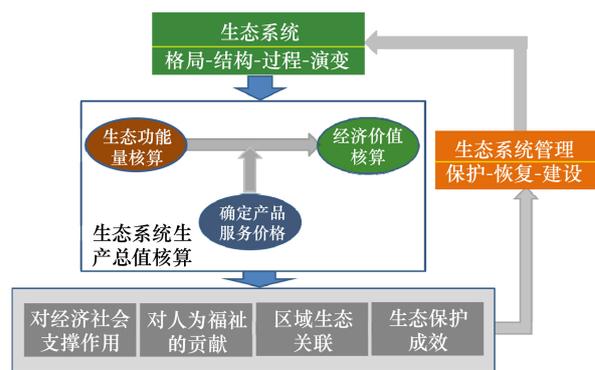


图 1 生态系统生产总值核算框架
Fig.1 Framework of gross ecosystem product accounting

统文化服务功能的价格。

3 贵州省生态系统生产总值核算

贵州省是多山地的亚热带高原山区,主要生态系统类型有森林、湿地、草地、农田和城市等。本研究以贵州省为对象,探讨生态系统生产总值核算的应用方法,评价贵州省生态系统为贵州和其他地区人们福祉和支撑经济社会发展所提供的产品和服务及其经济价值总和,为认识和了解贵州生态保护与建设进展和成效提供依据。

3.1 核算指标与核算方法

3.1.1 指标体系

贵州省生态系统生产总值核算指标体系由提供产品服务价值、调节服务价值、文化服务价值 3 大类 17 项功能指标构成(见表 4 和表 5,其中表 4 包括 7 项,表 5 包括 9 项,生态文化服务价值 1 项)。

3.1.2 核算方法

(1) 生态系统产品核算

贵州省生态系统产品是指贵州省生态系统为人类提供的最终产品,先分别核算各类产品的产量,最后用式(2)计算生态系统产品总经济价值。本文以 2010 年为核算年。

1) 农业产品。包括种植业、林业、养殖业、渔业的产品与产量。种植业的产品与产量,粮、棉、油料、糖料、烟叶、蔬菜、药材、瓜类和其它农作物的产品,以及茶园、桑园、果园的产品;林业包括林木栽培、林产品的采集和村及村以下的林木采伐的产品与产量;畜牧业包括动物饲养和放牧的产品与产量;渔业包括水生动物的养殖和捕捞的产品与产量^[26]。

2) 水电。是指贵州省 2010 年全年各类型水电站的总发电量^[26]。

3) 薪柴使用量。薪柴是贵州农村重要生活能源,2010 年全省农村 710.73 万户^[26]。据贵州农村 216 户调查,其中 82% 的农户用薪柴做饭、取暖,农村生活用柴平均每户为 2072.22kg/a。

4) 水资源。贵州生态系统水资源总量包括为本省和省外提供两部分。本省水资源主要包括农业灌溉用水、工业用水、城镇公共用水和居民生活用水,根据贵州省水资源公报统计各类生产生活用水量^[27]。为省外提供的水资源量是贵州出境水量与入境水量之差。

生态系统产品的价格根据当年市场价格确定。

(2) 生态调节服务核算

贵州生态调节功能包括土壤保持、固碳、产氧、水源涵养、洪水调蓄、大气净化、水净化、气候调节、病虫害控制 9 个方面,首先分别核算各指标的功能量,确定各项功能的价格,最后根据式(3)计算生态调节服务的总经济价值。

1) 土壤保持功能核算

生态系统土壤保持功能从保持土壤肥力和减轻泥沙淤积灾害 2 个方面评价。土壤保持量用潜在土壤侵蚀量与现实土壤侵蚀量之差计算^[28]。土壤营养物质保持量根据土壤流失量与流失土壤中 N、P、K 含量估算^[29]。本研究应用 GIS 技术获取贵州省不同土壤类型的 N、P、K 含量^[30]。

生态系统土壤保持价值运用机会成本法、影子价值法和替代工程法从保护土壤肥力和减轻泥沙淤积灾害 2 个方面评价植被对土壤保持的经济价值。

依据模型(5)估算出贵州省不同生态系统保护土壤营养物质的经济价值。

$$E_f = \sum_i A_c \cdot C_i \cdot P_i \quad (i = N, P, K) \quad (5)$$

式中, E_f 为保护土壤肥力经济效益(元/a); A_c 为土壤保持量(t/a); C_i 为土壤中氮、磷、钾的纯含量; P_i 为化肥平均价格(元/t)。

减轻泥沙淤积灾害价值估算:按照我国主要流域的泥沙运动规律,全国土壤侵蚀流失的泥沙 24% 淤积于水库、河流、湖泊,而我国 1m³库容的水库工程费用为 6.11 元^[31]。根据蓄水成本来计算生态系统减轻泥沙淤

积灾害的经济效益,式(6)。

$$E_n = 24\% \cdot A_c \cdot C/\rho \quad (6)$$

式中, E_n 为减轻泥沙淤积灾害的经济效益(元/a); A_c 为土壤保持量(t/a); C 为水库工程费用(元/m³); ρ 为土壤容重(t/m³)。

化肥价格和水库工程费用根据《森林生态系统服务功能评估规范》确定^[31]。

2) 固碳功能核算

本研究主要从森林、草地、湿地和城市绿地 4 个方面计算贵州省生态系统碳固定的价值。

由光合作用方程式可知,植物生产 162g 干物质可吸收 264g CO₂,即 1g 干物质需要 1.62gCO₂,并释放 1.20g 氧气,而干物质质量可根据植被净初级生产力(NPP)计算。因此,植物固碳价值为生态系统干物质总量乘以固碳价格。

固碳价格根据 2010 年欧盟碳交易的价格进行确定。

3) 产氧功能核算

以植被净初级生产力为基础计算氧生产功能量。根据光合作用过程,每生产 1g 干物质需要 1.62g CO₂,并释放 1.20g O₂,氧的价格按照工业制氧价格计算。

氧生产价格根据《森林生态系统服务功能评估规范》确定^[31]。

4) 水源涵养功能核算

本研究采用水量平衡法计算生态系统涵养水源量,采用替代工程法,以水库蓄水成本法确定价格,评价生态系统涵养水源的总价值,式(7)、(8)。

$$W_f = R + I_w - E_r - O_w \quad (7)$$

$$E_w = W_f \cdot P \quad (8)$$

式中, W_f 为区域内总的水源涵养量(m³), R 为年降水总量(m³), I_w 为入境水量(m³), E_r 为区域内年蒸发量(m³), O_w 为出境水量(m³)。 E_w 为水源涵养总价值量(元/a), P 为建设单位库容的投资价格(元/m³)。

水库工程费用根据《森林生态系统服务功能评估规范》确定^[31]。

5) 洪水调蓄功能核算

水库、湖泊、塘坝等湿地具有蓄洪、泄洪、消减洪峰的作用,对减轻与预防洪水的危害发挥了重要作用。

本研究基于可调蓄水量与湖面面积之间的数量关系,构建湖泊洪水调蓄功能评价模型,式(9)。

$$L_p = 134.83 \cdot \exp(0.927 \cdot \ln(L_a)) \quad (9)$$

式中, L_p 为可调蓄水量(万m³); L_a 为湖面面积(km²)。

水库的洪水调蓄量可通过水库总库容和水库枯水期蓄水量之差计算,式(10)。

$$R_p = T_v - S_v \quad (10)$$

式中, R_p 为水库可调蓄水量(万m³); T_v 为水库总库容(万m³), S_v 为水库枯水期蓄水量(万m³)。

贵州省生态系统洪水调蓄价值根据湖泊和水库调蓄能力乘以水库建设单位库容造价进行核算,式(11)。

$$E_a = (L_p + R_p) \cdot P_v \quad (11)$$

式中, E_a 为洪水调蓄功能价值量(万元), P_v 为水库建设单位库容价格(元/m³)。

水库工程费用根据《森林生态系统服务功能评估规范》确定^[31]。

6) 大气环境净化功能核算

本研究主要考虑生态系统对 SO₂净化与滞尘功能量与价值。由于贵州生态系统大气污染物净化能力远大于贵州 SO₂、烟尘和工业粉尘排放量,在本研究核算大气污染物净化量及其价值时,直接运用全省 2010 年 SO₂排放量、烟尘排放量和工业粉尘排放量,分别乘以单位 SO₂、烟尘和工业粉尘处理的费用。

SO₂治理费用和除尘价格根据《森林生态系统服务功能评估规范》确定^[31]。

7) 水环境净化功能核算

本研究主要考虑生态系统对 COD 和氨氮净化功能的价值。由于贵州湿地水污染物净化功能潜力远大于贵州省 COD、氨氮等主要污染物排放量。在本研究核算水污染物净化量及其价值时,直接运用全省 2010 年 COD 和氨氮排放量,分别乘以单位 COD 与氨氮处理的费用。

COD 与氨氮处理价格根据《森林生态系统服务功能评估规范》确定^[31]。

8) 气候调节功能核算

生态系统气候调节功能的价值主要指吸热降温产生的价值。生态系统吸热降温价值量包括植物蒸腾和水面蒸发两方面。植物蒸腾价值:据测算,1hm²绿地夏季在周围环境中可吸收 81.1×10³kJ 的热量^[32],全省绿地面积按森林和草地面积之和计算,根据达到同样效果用电量和电价可计算相应的价值量。水面蒸发价值:贵州省全年平均蒸发量约为 1100mm^[33],根据贵州省水面面积和蒸发相同的水量所需的电量计算全省水汽蒸发产生的价值,式(12)。

$$E_c = E_v + E_w \quad (12)$$

$$E_v = (F_a + G_a) \cdot H_a \cdot \rho \cdot P_e \quad (13)$$

$$E_w = W_a \cdot E_p \cdot \beta \cdot P_e \quad (14)$$

式中, E_c 为气候调节总价值量(万元), E_v 为植物蒸腾价值量(万元), E_w 为水面蒸发价值量(万元)。 F_a 为森林面积(km²), G_a 为草地面积(km²), H_a 为单位绿地面积吸收的热量(kJ/km²), ρ 为常数,1kWh/3600kJ, P_e 为电价(元/kWh)。 W_a 为水体面积(m²), E_p 为年平均蒸发量(m), β 为蒸发单位体积的水消耗的能量(kJ/m³)。

用电价格根据贵州省 2010 年居民用电价格确定。

9) 病虫害控制功能核算

大规模单一植物物种的栽培,容易导致害虫的猖獗和危害,而物种多样性高的群落可以降低植食性昆虫的种群数量,减少病虫害导致的损失。本研究以贵州省人工林发生病虫害高出天然林所产生的损失核算生态系统病虫害控制功能价值,式(15)。

$$E_b = NF_a \cdot (MF_r - NF_r) \cdot P_b \quad (15)$$

式中, E_b 为病虫害控制功能价值(万元), NF_a 为天然林面积(km²), MF_r 为人工林病虫害发病率(%), NF_r 为天然林病虫害发病率(%), P_b 为单位面积病虫害防治的费用(万元/km²)。

病虫害治理价格根据单位面积使用农药费用和人工费用确定。

(3) 休闲旅游功能核算

到 2010 年 12 月,贵州省各类省级及以上级别自然景观 151 个,包括世界自然遗产地 2 个,国家级风景名胜区 18 个,省级风景名胜区 54 个,国家级自然保护区 10 个,省级自然保护区 8 个,国家级森林公园 21 个,省级森林公园 26 个,国家级地质公园 9 个,省级地质公园 3 个。参考成程对自然景观分级标准^[34],根据 2012 年游客量和景点级别,把贵州省自然景观分为国家级、省级和地县级三个等级(表 2)。

表 2 贵州省自然景观分级

Table 2 Level of the natural landscape in Guizhou Province

级别 Levels	风景名胜区 Scenic spot	自然保护区 Nature reserve	地质公园 Geological park	森林公园 Forest park	总计 Total
国家级 National	6	2	0	0	8
省级 Provincial	12	1	2	0	15
地县级 Prefecture and County	56	15	10	47	128
总计 Total	74(包括 2 个世界遗产地)	18	12	47	151

本研究运用旅行费用法和条件价值法核算生态观赏娱乐等游憩价值,包括使用价值和非使用价值。自然景观的使用价值被看作是一种替代价值,为消费者支出与消费者剩余之和^[35]。消费者支出为旅行费用与旅

行时间价值之和^[36], 消费者剩余的计算应用区域旅行费用法^[37-38], 非使用价值运用条件价值法进行计算^[39-41]。

本研究对贵州 8 个典型以自然景观为主题的旅游区, 开展了问卷调查, 其中国家级 3 个, 省级 3 个, 地县级 2 个(表 3)。

表 3 贵州省自然景观调查信息

Table 3 Information of the Natural scenery survey

级别 Levels	调查数量 Numbers	调查景点名称 Names	景点类型 Types
国家级 National	3	荔波小七孔	世界自然遗产地、风景名胜区
		黄果树	风景名胜区
		梵净山	自然保护区
省级 Provincial	3	织金洞	风景名胜区、地质公园
		南江大峡谷	风景名胜区
		天河潭	风景名胜区、地质公园
地县级 Prefecture and county	2	花溪公园	风景名胜区
		十里河滩	风景名胜区

3.2 生态系统产品与价值

2010 年, 贵州省生态系统产品总价值为 2083.45 亿元(表 4)。贵州生态系统提供粮食产量 2445.46 万 t, 肉类 194.99 万 t, 农林牧渔产品总价值为 976.5 亿元。水资源总量 1009.90 亿 m³, 其中贵州生产生活用水量 97.97 亿 m³, 为省外提供水资源 911.93 亿 m³, 总价值为 1036.29 亿元。水电发电量为 416.58 亿 kWh, 产值为 3.03 亿元; 农村薪柴使用量 1207.67 万 t, 经济价值为 67.63 亿元。

表 4 2010 年贵州省生态系统产品产量与价值

Table 4 Output and value of ecosystems products in Guizhou Province (2010)

项目 Items	产品 Products	产量 Production	产值/亿元 Value/(10 ⁻¹ · billion yuan)
农业产品 Agricultural Products	稻谷 Rice(10 ⁴ t)	445.65	118.59
	小麦 Wheat(10 ⁴ t)	24.83	4.42
	玉米 Corn(10 ⁴ t)	415.43	81.34
	大豆 Soybeans(10 ⁴ t)	15.99	5.98
	马铃薯 Potato(10 ⁴ t)	141.43	35.24
	油菜籽 Rapeseed(10 ⁴ t)	51.62	22.97
	花生 Peanuts(10 ⁴ t)	7.68	5.47
	甘蔗 Sugarcane(10 ⁴ t)	52.24	2.14
	烤烟 Flue-cured tobacco(10 ⁴ t)	37.02	65.90
	蔬菜 Vegetable(10 ⁴ t)	1202.04	187.52
	苹果 Apples(10 ⁴ t)	1.55	0.78
	梨 Pears(10 ⁴ t)	18.21	10.87
	柑桔 Oranges(10 ⁴ t)	20.37	8.15
	香蕉 Bananas(10 ⁴ t)	0.61	0.37
	杨梅 Waxberry(10 ⁴ t)	2.90	2.90
	猕猴桃 Chinese Gooseberrys(10 ⁴ t)	1.30	1.04
	柿子 Persimmons(10 ⁴ t)	1.36	1.09
茶叶 Tea(10 ⁴ t)	5.23	10.46	
	合计 Total	2445.46	565.23
林业产品 Forestry products	生漆 Lacquer(t)	1614	2.10
	油桐籽 Tung oil seed(t)	63815	5.74
	油茶籽 Tea oil seed(t)	20368	2.24

续表

项目 Items	产品 Products	产量 Production	产值/亿元 Value/(10 ⁻¹ · billion yuan)
	乌柏籽 Tallow seeds(t)	2468	1.04
	五倍籽 Nutgall(t)	2216	0.53
	棕片 Palm flake(t)	4365	0.71
	松脂 Rosin(t)	8215	1.40
	竹笋片 Bamboo shoot slice(t)	20382	4.89
	核桃 Walnuts(t)	15356	3.07
	板栗 Chestnut(t)	19316	2.32
	中药材 Chinese herb medicine (10 ³ hm ²)	28.12	16.42
	园林绿化苗木 Ornamental tree seedlings(10 ⁴ hm ²)	1.05/15	5.27/15
	花卉 Flowers(10 ⁴ hm ²)	0.38/15	1.90/15
	林木的培育和种植 Cultivating and planting of forest (10 ³ hm ²)	72.7	5.49
	木材和竹材的采运 Logging and transporting of timber & bamboo(10 ⁴ m ³)	239.1	11.47
	合计 Total	—	64.59
畜牧业产品 Husbandry products	牛肉 Beef(10 ⁴ t)	11.99	40.77
	羊肉 Mutton(10 ⁴ t)	3.40	15.37
	猪肉 Pork(10 ⁴ t)	148.09	196.23
	禽肉 Poultry(10 ⁴ t)	14.12	50
	牛奶 Cow milk(10 ⁴ t)	4.59	9.18
	禽蛋 Poultry eggs(10 ⁴ t)	12.51	20.02
	蜂蜜 Honey(10 ⁴ t)	0.19	0.34
	狩猎和捕捉动物 Hunting and catching animals(10 ⁴ t)	0.10	0.95
	合计 Total	194.99	332.86
渔业产品 Fishery Products	水产品 Aquatic products(10 ⁴ t)	8.79	13.82
水资源 Water resources	省内水资源量 Local Water Resources	农业灌溉用水量 Irrigation water consumption(m ³)	51.17×10 ⁸
		城镇公共用水量 Urban public water consumption(m ³)	0.73×10 ⁸
		工业用水量 Industrial water consumption(m ³)	33.75×10 ⁸
		居民生活用水量 Residents water consumption(m ³)	12.32×10 ⁸
		小计 Total	97.97×10 ⁸
	省外输出水资源量 Water resources to other provinces(m ³)		911.93×10 ⁸
	合计 Total		1009.90×10 ⁸
水电 Hydropower	水电发电量 Hydropower generation(kWh)	416.58×10 ⁸	3.03
生物能源 Bio-energy	薪柴使用量 Firewood used amount(10 ⁴ t)	1207.67	67.63
	总计 Total		2083.45

3.3 生态系统调节服务功能量与价值

贵州省生态系统调节服务总价值 13793.13 亿元(表 5)。其中水源涵养价值 5278.98 亿元,占总价值的 38.27%;氧生产价值 2080.00 亿元,占 15.08%;气候调节价值 5337.31 亿元,占 38.69%。

(1) 土壤保持价值

贵州省土壤保持总量为 38.71 亿 t,保肥总量为 65.27 万 t,总经济价值为 16.97 亿元;因土壤保持功能减轻泥沙淤积量为 0.97 亿 m³,经济价值 5.93 亿元,贵州省土壤保持功能总价值为 22.9 亿元(表 6)。

表 5 生态系统调节服务功能量与经济价值

Table 5 Regulation service and economic value of ecosystems

服务功能 Services	指标 Indicators	功能量 Services	价格 Price	价值(亿元) Value($10^{-1} \cdot$ billion yuan)
土壤保持 Soil conservation	保肥量 Fertilizer conservation(10^4 t)	65.27	2600 元/t	16.97
	减轻泥沙淤积量(亿 m^3) Silt decreasing($10^{-1} \cdot$ billion m^3)	0.97	6.11 元/ m^3	5.93
	合计 Total			22.90
水源涵养 Water conservation	水源涵养量(亿 m^3) water conservation($10^{-1} \cdot$ billion m^3)	863.99	6.11 元/ m^3	5278.98
洪水调蓄 Flooding mitigation	湖泊调蓄量(亿 m^3) Lakes conditioning($10^{-1} \cdot$ billion m^3)	0.83	6.11 元/ m^3	5.07
	水库调蓄量(亿 m^3) Reservoir conditioning($10^{-1} \cdot$ billion m^3)	117.59	6.11 元/ m^3	718.47
	合计 Total	118.42		723.54
C 碳固定 C fixation	植被固碳量(亿 t) C fixation($10^{-1} \cdot$ billion t)	2.76	120 元/t	331.20
氧生产 Oxygen production	产氧量(亿 t) Oxygen production($10^{-1} \cdot$ billion t)	2.08	1000 元/t	2080.00
大气环境净化 Air purification	净化 SO_2 量 Sulfur dioxide purification(10^4 t)	114.89	1200 元/t	13.79
	工业烟尘量 Industrial fumes(10^4 t)	25.1	150 元/t	0.38
	粉尘量 Dusts(10^4 t)	8.83	150 元/t	0.13
	合计			14.3
水质净化 Water purification	工业废水量(亿 t) Industrial wastewater($10^{-1} \cdot$ billion t)	0.32	2.09 元/t	0.67
	生活废水量(亿 t) Domestic wastewater($10^{-1} \cdot$ billion t)	1.59	2.09 元/t	3.32
	合计	1.91		3.99
气候调节 climate Regulation	植物蒸腾吸热量(kJ) Plant transpiration heat absorption	10.25×10^{11}	0.46 元/kWh	1.31
	水面蒸发吸热量(kJ) Water surface evaporation heat absorption	4.18×10^{15}	0.46 元/kWh	5336
	合计 Total	4.18×10^{15}		5337.31
病虫害控制 Invasive species control	天然林面积(km^2) Area of natural forest	52151.86	100 元/666.7 m^2	0.91
总计 Total				13793.13

表 6 贵州省 2010 年不同生态系统类型土壤保持价值量表

Table 6 Value of soil conservation in different ecosystem types in Guizhou Province (2010)

类型 Types	单位保土量 /($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$) Unit soil conservation	面积/ km^2 Area	土壤保持总量 ($10^8 t/a$) Total soil conservation	保肥价值 /(亿元/a) Value of fertilizer conservation /($10^{-1} \cdot$ billion yuan $\cdot a^{-1}$)	减轻泥沙淤积灾害 价值/(亿元/a) Value of silt decreasing /($10^{-1} \cdot$ billion yuan $\cdot a^{-1}$)	保土总价 值/(亿元/a) value of soil conservation /($10^{-1} \cdot$ billion yuan $\cdot a^{-1}$)
森林 Forest	25233.43	111780.43	28.21	12.36	4.32	16.68
农田 Crop land	13955.62	39594.02	5.53	2.39	0.85	3.24
草地 Grassland	24031.43	17767.73	4.27	1.90	0.66	2.56
园地 Garden	27105.06	2595.86	0.70	0.32	0.10	0.42
合计 Total	22537.28	171738.05	38.71	16.97	5.93	22.9

(2) 固碳价值

2010 年,贵州省生态系统植被固碳总量为 2.76 亿 t,总的固碳价值为 331.20 亿元。其中森林固碳量为 2.05 亿 t,经济价值 246.00 亿元,占 74.28%;草地固碳量为 0.66 亿 t,经济价值 79.2 亿元,占 23.91%(表 7)。

(3) 产氧价值

贵州省 2010 年生态系统产氧量为 2.08 亿 t,经济价值为 2080.00 亿元。其中森林产氧量为 1.54 亿 t,经济价值 1540.00 亿元,占 74.04%;草地产氧量为 0.50 亿 t,经济价值 500.00 亿元,占 24.04%(表 7)。

表 7 2010 年贵州省各类生态系统固碳、产氧价值统计表

Table 7 Statistics Value of C fixation & oxygen production of ecosystem services in Guizhou Province (2010)

生态系统类型 Ecosystem type	固碳量/亿 t Carbon sequestration ($10^{-1} \cdot \text{billion t}$)	固碳价值/亿元 Value of carbon sequestration ($10^{-1} \cdot \text{billion yuan}$)	固碳百分比/% Percent of C fixation (%)	产氧量/亿 t O production ($10^{-1} \cdot \text{billion t}$)	产氧价值/亿元 Value of oxygen production ($10^{-1} \cdot \text{billion yuan}$)	产氧百分比/% Percent of O production/%
森林 Forest	2.05	246.00	74.28	1.54	1540.00	74.04
草地 Grassland	0.66	79.20	23.91	0.50	500.00	24.04
湿地 Wetland	0.02	2.40	0.72	0.02	20.00	0.96
绿地 Green space	0.03	3.60	1.09	0.02	20.50	0.96
合计 Total	2.76	331.20	100.00	2.08	2080.00	100.00

(4) 水源涵养价值

2010 年贵州省年降水总量为 1948.15 亿 m^3 ,入境水量为 126.25 亿 m^3 ,出境水量为 1038.18 亿 m^3 ,贵州省水面平均年蒸发量为 1100mm,湿地面积(包括水田) 15657 km^2 ,年蒸发量 172.23 亿 m^3 ,生态系统水源涵养总量 863.99 亿 m^3 ,生态系统水源涵养总价值为 5278.98 亿元。

(5) 洪水调蓄价值

贵州省湖泊面积 85.14 km^2 ,根据湖泊洪水调蓄功能评价模型计算贵州省湖泊调蓄洪水能力为 0.83 亿 m^3 ,湖泊调蓄价值为 5.07 亿元。

至 2010 年,贵州省共建成各类水利工程 2073 处,总库容约 354.27 亿 m^3 ^[42],2010 年末蓄水量 236.68 亿 m^3 ^[21],贵州省各类水利工程蓄洪能力为 117.59 亿 m^3 ,水库调蓄洪水功能价值为 718.47 亿元。

湖泊、水库调蓄洪水总经济价值 723.54 亿元。

(6) 净化空气价值

2010 年贵州省二氧化硫排放总量为 114.89 万 t,烟尘排放总量为 25.1 万 t,工业粉尘排放总量为 8.83 万 t^[43],净化空气总经济价值为 14.30 亿元。

(7) 净化水质价值

2010 年贵州全省废水排放总量为 6.08 亿 t,其中,工业废水排放量 1.41 亿 t,生活废水排放量 4.67 亿 t,工业废水排放达标率为 77.27%,生活废水处理率达 66.08%^[43],因此进入自然界中的实际废水排放量为 1.91 亿 t,生态系统净化水质的价值为 3.99 亿元。

(8) 气候调节价值

2010 年贵州省森林、草地和城市绿地等植被覆盖面积为 12.64 万 km^2 ,全省植被在夏季因蒸腾作用吸收的热量为 $10.25 \times 10^{11} \text{kJ}$,合 2.85×10^8 度电;全省水面年蒸发量为 17.22 亿 m^3 ,在气温 25°C 环境下,1 m^3 水汽化为相同温度的水蒸气需消耗 $2.43 \times 10^6 \text{kJ}$ 的热量,全省水面蒸发消耗的总热量为 $4.18 \times 10^{15} \text{kJ}$,合 1.16×10^{12} 度电,植物蒸腾和水面蒸发产生的经济价值为 5337.31 亿元。

(9) 病虫害控制价值

据贵州省 2010 年林地调查资料(贵州省林地保护利用规划,2010,表 8),贵州省林地总面积

86404.19 km²,其中,天然林面积 52151.86 km²,人工林面积 34252.33 km²,天然林中发生病虫害的面积是 717.16 km²,占天然林面积的 1.38%,人工林中发生病虫害的面积是 869.22 km²,占人工林面积的 2.54%,全省发生病虫害林地总面积是 1586.38 km²,占林地总面积的 1.84%。生态系统病虫害控制服务总价值为 0.91 亿元。

表 8 贵州省林地病虫害发生情况统计表

Table 8 Statistical table of forest diseases and insect pests in Guizhou province

分类 Forest types	面积/km ² Area	病虫害面积/km ² Area of plant diseases	发生病虫害面积比/% Percentage
天然林 Natural forest	52151.86	717.16	1.38
人工林 Plantation	34252.33	869.22	2.54
林地 Forestry land	86404.19	1586.38	1.84

3.4 生态文化服务价值

通过对全省 8 个不同级别景点调查和分析(表 9),根据每个等级的平均价值计算出全省自然景观总价值为 4136.88 亿元,其中国家级自然景观总价值 950.00 亿元,占 22.96%;省级自然景观总价值为 734.40 亿元,占 17.75%;地方级自然景观总价值为 2452.48 亿元,占 59.28%(表 10)。

表 9 贵州省自然景观价值调查结果

Table 9 Results of natural scenery value survey in Guizhou Province

级别 Level	景点 Scenic spot	消费价值/亿元 Consumption value /(10 ⁻¹ · billion yuan)	支付意愿/亿元 Willingness-to-pay /(10 ⁻¹ · billion yuan)	消费者剩余价值/亿元 Customer surplus value /(10 ⁻¹ · billion yuan)	生态景观总价值/亿元 Ecological landscape value /(10 ⁻¹ · billion yuan)
国家级 National	荔波小七孔	99.55	2.54	50.95	153.04
	黄果树	52.99	2.38	92.93	148.3
	梵净山	9.7	0.92	44.29	54.91
	平均价值	54.08	1.95	62.72	118.75
省级 Provincial	织金洞	1.19	2.64	19.3	23.13
	南江大峡谷	2.5	0.58	60.83	63.91
	天河潭	2.49	0.58	56.77	59.84
	平均价值	2.06	1.27	45.63	48.96
地县级 Prefecture and county	花溪公园	2.44	0.49	18.66	21.59
	十里河滩	2.04	0.59	14.09	16.72
	平均价值	2.24	0.54	16.38	19.16

表 10 不同级别自然景观价值

Table 10 Different levels of natural scenery value

级别 Level	价值/亿元 Value/(10 ⁻¹ · billion yuan)	数量 Quantity	总价值/亿元 Sum of value /(10 ⁻¹ · billion yuan)	%
国家级 National	118.75	8	950.00	22.96
省级 Provincial	48.96	15	734.40	17.75
地县级 Prefecture and county	19.16	128	2452.48	59.28
合计 Total	—	151	4136.88	100.00

3.5 贵州省生态系统生产总值

贵州省生态系统生产总值是 20013.46 亿元,其中,生态系统产品总价值为 2083.45 亿元,占 10.41%;调节服务总价值为 13793.13 亿元,占 68.92%;文化服务总价值为 4136.88 亿元,占 20.67%;生态系统调节服务价值为生态系统产品价值的 6.6 倍,生态系统文化服务价值为生态系统产品价值的近 2 倍。

2010年,贵州省人口3479万人,人均GEP57526元,与当年的GDP相比,贵州GDP总量为4602.16亿元,人均13119元,人均GEP是人均GDP的4.3倍。

4 讨论

本研究以生态系统服务功能评估的理论和方法为基础,探讨了生态系统生产总值的概念、理论基础与核算方法。并以贵州省为例,估算了贵州省2010年全省生态系统生产总值,总价值为20013.46亿元,是当年该省国民生产总值的4.3倍,该研究表明,生态系统生产总值可以用来定量评估与核算生态系统对贵州的经济社会发展的巨大支撑作用。

生态系统生产总值是生态系统为人类福祉所提供的产品与服务的价值总和,因此生态系统生产总值不仅可以用来认识和了解生态系统自身的状况以及变化,还可用来评估生态系统对于经济社会发展的支撑作用和对人类福祉的贡献。生态系统生产总值的增长、稳定或降低反映了生态系统对经济社会发展支撑作用的变化趋势,因此生态系统生产总值核算还可以用来评估可持续发展水平与状况,考核一个地区或国家生态保护的成效,还可以作为评估生态文明建设进展的指标之一。

由于生态系统类型和地理位置的不同,不同地区的生态系统生产总值与构成会有地域差异,通过分析生态系统产品流通方向和生态系统服务的覆盖范围评估不同地区间的生态关联,明确生态产品与服务净提供地区与净消费地区,从而可以为生态保护和生态补偿提供定量的科学依据。

近年来,生态系统服务功能评估取得长足进展,越来越多的生态系统服务功能类型为人们所认识,生态系统服务功能量的评价方法也在不断发展成熟,为核算生态系统生产总值奠定了基础。同时,现行的国民经济核算体系可以为生态系统产品的核算提供较全面的数据,环境监测、水文监测、草地监测、森林资源清查和湿地调查体系可以为生态系统调节服务功能的核算提供数据和参数,已基本具备开展国家或地区尺度的生态系统生产总值核算的技术基础。

由于生态系统生产总值还是一个全新的概念,本文还只是提出这个概念及核算思路,为了建立生态系统生产总值核算机制,成为考核一个国家或地区生态保护成效和生态效益的指标,还需要开展如下几方面的工作:一是建立国家生态系统核算框架与指标体系,以及标准化的核算方法。由于生态系统产品与服务功能类型多,不同国家和地区差异大,这个框架应能满足不同的地区评价需要。二是加强生态系统产品与服务监测评估和技术研究,重点建设生态系统调节服务功能的监测体系,为生态系统生产总值核算提供基础数据。三是要进一步开展生态系统调节服务价格确定方法研究,完善生态系统调节功能和文化功能的定价方法。四是以生态系统生产总值核算为基础,将生态效益纳入经济社会发展评价体系,评估和考核我国及各地区生态文明建设进展和所面临的问题。

References:

- [1] Daily G C, *Nature's Services: Societal dependence on natural ecosystems*, Island Press, Washington D C, 1997.
- [2] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values, *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 607-613.
- [3] *Millennium Ecosystem Assessment*, Island Press, 2005.
- [4] *Millennium Ecosystem Assessment*, Island Press, 2001.
- [5] Costanza R d, Arge R, Rudolf de Groot, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [6] United Nation Statistics Division, 2012, *Land and Ecosystem Services*. <http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/les.asp>.
- [7] TEEB. *Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusion and recommendations of TEEB*, 2010.
- [8] Kareiva P, Tallis H, Ricketts T H, Daily G C, Polasky S. *Natural capital: Theory and practice of mapping ecosystem services*. Oxford: Oxford University Press. 2011.
- [9] World Bank, 2010, *Wealth Accounting and Valuation of Ecosystem Services*. <http://www.worldbank.org/programs/waves>.
- [10] Hu J T. *Not to move or retreat along the Chinese characteristic socialist road ahead and strive for building a well-off society*, Beijing, Peoples Publishing House, 2013.

- [11] Ma S J, Wang R S. The social-economic-natural complex ecosystem, *Acta Ecologica Sinica*, 1984, 4(1): 1-9.
- [12] Liu J, Dietz T, Carpenter S, Folke C, Alberti M, Redman C, Schneider S, Ostrom E, Pell A, Lubchenco J, Taylor W, Ouyang Z, Deadman P, Kratz T, Provencher W. Coupled human and natural systems. *Ambio* 2007, 36:639-649.
- [13] U.N., European Commission, OECD, IMF, WB. System of national accounts 2008. Beijing, China Statistics Press, 2012.
- [14] Shen H, Kama Y L. Gross national happiness: index of a country's economic development, Beijing, Peking University Press, 2011.
- [15] UNDP. Human Development Report 1990- "Concept and measurement of human development", 1990.
- [16] UNDP. Human Development Report 2013- "The rise of the south: human progress in a diverse world", 2013.
- [17] Moving Beyond GDP, How to factor natural capital into economic decision making, WB WAVES, 2012. <http://www.wavespartnership.org/waves/publications>.
- [18] System of Environmental-Economic Accounting 2012: Central Framework-white cover publication, European Commission, Food and Agriculture Organization, International Monetary Fund Organisation for Economic Cooperation and Development, United Nations, World Bank, 2012. <http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/pubs.asp>.
- [19] System of Environmental-Economic Accounting 2012: Experimental Ecosystem Accounting-white cover publication, European Commission, Organisation for Economic Co-operation and Development, United Nations, World Bank, 2013.
- [20] UK National Ecosystem Assessment Technical Report (2011): Understanding nature's value to society. UK NEA, <http://uknea.unep-wcmc.org/>.
- [21] Gary Stoneham, Andrew O'Keefe, Mark Eigenraam, David Bain. Creating physical environmental asset accounts from markets for ecosystem conservation. *Ecological Economics*, 2012, (82): 1-140.
- [22] Gao M X, Li J P, Xu J. National economic accounting theory and practice in China, Beijing, Renmin University of China Press, 2012.
- [23] Zhu C Q. "Nature Based Solutions" to promote ecological civilization, //Zhao Q Z. Ecological civilization in Liaocheng, Beijing, Chinese Social Science Press, 2012: 68-70.
- [24] Mark Eigenraam, Joselito Chua and Jessica Hasker, Land and ecosystem services: measurement and accounting in practice, 18th Meeting of the London Group on Environmental Accounting, Ottawa, Canada, 2012.
- [25] Ouyang Z Y, Zhu C Q, Xu W H, Zhang Y. The concept, methodology and case study of GEP, The report of Workshop on Eco-Civilization and Its Indicator Frameworks And Launch Ceremony of China's First Gross Ecosystem Product (GEP) Project, 2013. IUCN : <http://www.iucn.org/zh/china/?12537/IUCN-China-takes-lead-in-measuring-the-true-value-of-nature>
- [26] Guizhou statistical yearbook 2011, Beijing, China Statistics Press, 2011.
- [27] Water resources bulletin in Guizhou Province 2010, Department of water resources of Guizhou Province, 2010.
- [28] Ouyang Z Y, Zhao T Q, Zhao J Z, Xiao H, Wang X K. Ecological regulation services of Hainan Island ecosystem and their valuation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8): 1395-1402.
- [29] Zhao T Q, Ouyang Z Y, Jia L Q, Zheng H. Ecosystem services and their valuation of China grassland, *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1101-1110.
- [30] Department of agriculture of Guizhou province, Nanjing Soil Research Institute of Chinese Academy of Sciences. The soil of Guizhou, 1980.
- [31] China forestry industry standard of the people's Republic of China(LY/T 1721—2008), Specifications for assessment of forest ecosystem service function, State Forestry Administration, 2008.
- [32] Net; <http://env.people.com.cn/GB/4619008.html>.
- [33] The climate of Guizhou, Meteorological bureau of Guizhou Province, 1959.
- [34] Cheng C. Natural landscape valuation in China, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, 2013.
- [35] Chen Y F. Cost method- Method a practical assessment of Forest Recreation Value, *Ecological economy*, 1996, (3): 27-31.
- [36] Mendes, I. Travel and On Site Recreation Time: An empirical approach to value the recreation benefits of peneda-gerês national park. Lisbon, IATUR's 2002 Conference, 2002.
- [37] Li N, Pan W. Using travel cost interval analysis to evaluate the recreational benefits of Shennongjia nature reserve. *Ecological economy*, 2010, (1): 35-41.
- [38] Li X Y. Evaluation of recreation value of Canus scenes tourism resources, *forest resources management*, 2010, 4: 88-92.
- [39] Chen F, Zhang J. Analysis on capitalization accounting of travel value—a case study of Jiuzhaigou scenic spot. *Journal of Nanjing university: Natural science edition*, 2001, 37(3): 296-303.
- [40] Liu X H. The theoretic improvement and its application of CVM in the valuation of Qixinghe wetland services. *Ecological economy*, 2007, (2): 317-320.
- [41] Zhang X L, Ma L, Lu X Z, Gu Y, Ruan H H. Research on the evaluation method of recreation value: a case study of Fengyangshan national nature reserve, *China population, resources and environment*, 2011, 21(3): 213-216.

- [42] Wang Y P, Shang C J, Hao Z B, Zhu X M. Research on disaster prevention and mitigation based on water conservancy in Guizhou province. China rural water and hydropower, 2013, (3):103-106.
- [43] 2010 Report on the state of the environment in Guizhou, Guizhou province environmental protection bureau, 2010.

参考文献:

- [2] 欧阳志云,等.中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究.生态学报,1999,19(5):607-613.
- [10] 胡锦涛. 坚定不移沿着中国特色社会主义道路前进,为全面建成小康社会而奋斗.北京:人民出版社,2013.
- [11] 马世骏,王如松. 社会-经济-自然复合生态系统.生态学报,1984,4(1):1-9.
- [14] 沈颢,卡玛·尤拉. 国民幸福:一个国家发展的指标体系.北京,北京大学出版社,2011.
- [22] 高敏雪,李静萍,许健.国民经济核算原理与中国实践.北京:中国人民大学出版社,2013.
- [23] 朱春全.“以自然为本”推进生态文明,中国(聊城)生态文明建设国际论坛主旨演讲,//赵庆忠.生态文明看聊城,北京:中国社会科学出版社,2012:68-70.
- [25] 欧阳志云,朱春全,徐卫华,张琰 2013,“生态系统生产总值(GEP)的概念、方法和案例研究,生态文明指标体系研讨会暨首个生态系统生产总值(GEP)项目落地启动会上的报告.IUCN 官方网站:<http://www.iucn.org/zh/china/?12537/IUCN-China-takes-lead-in-measuring-the-true-value-of-nature>
- [26] 贵州统计年鉴 2011,北京:中国统计出版社,2011.
- [27] 2010 贵州省水资源公报.贵州省水利厅,2010.
- [28] 欧阳志云,赵同谦,赵景柱,肖华,王效科.海南岛生态系统生态调节功能及其生态经济价值研究.生态应用学报,2004,15(8):1395-1402.
- [29] 赵同谦,欧阳志云,贾良清,郑华.中国草地生态系统服务功能间接价值评价.生态学报,2004,24(6):1101-1109.
- [30] 贵州省农业厅,中科院南京土壤所.贵州土壤,1980.
- [31] 中华人民共和国林业行业标准(LY/T 1721—2008),森林生态系统服务功能评估规范,国家林业局,2008.
- [32] 人民网;<http://env.people.com.cn/GB/4619008.html>.
- [33] 贵州的气候,贵州省气象局编著,1959.
- [34] 成程.全国自然景观价值评估,中国科学院生态环境研究中心硕士论文,2013.
- [35] 陈应发.费用支出法——一种实用的森林游憩价值评估方法.生态经济,1996,(3):27-31.
- [37] 李娜,潘文.用旅行费用区间分析法评估神农架自然保护区游憩价值.生态经济,2010,(1):35-41.
- [38] 李雪艳.喀纳斯景区旅游资源游憩价值评价.林业资源管理,2010,4:88-92.
- [39] 陈浮,张捷.旅游价值货币化核算研究——九寨沟案例分析.南京大学学报:自然科学版,2001,37(3):296-303.
- [40] 刘向华.意愿调查法在三江平原七星河湿地价值评估中的理论改进与应用.生态经济(学术版),2007,(2):317-320.
- [41] 张晓利,马力,鲁小珍,顾叶,阮宏华.游憩价值评价方法探讨——以凤阳山自然保护区为例.中国人口.资源与环境,2011,21(3):213-216.
- [42] 王玉萍,商崇菊,郝志斌,朱晓萌.论贵州水利建设与防灾减灾体系建设,中国农村水利水电,2013,(3):103-106
- [43] 2010 年贵州省环境状况公报.贵州省环境保护厅,2010.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.21 Nov., 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Gross ecosystem product: theory framework and case study OUYANG Zhiyun, ZHU Chunquan, YANG Guangbin, et al (6747)
- Advances in impacts of climate change on infectious diseases outbreak LI Guodong, ZHANG Junhua, JIAO Gengjun, et al (6762)
- Ecology of aerobic methane oxidizing bacteria (methanotrophs) YUN Juanli, WANG Yanfen, ZHANG Hongxun (6774)
- Nitrogen deposition and *Leymus chinensis* leaf chlorophyll content in Inner Mongolian grassland
..... ZHANG Yunhai, HE Nianpeng, ZHANG Guangming, et al (6786)
- Worldwide distribution and multivariate similarity clustering analysis of spiders
..... SHEN Xiaocheng, ZHANG Baoshi, ZHANG Feng, et al (6795)
- The influence of wind direction on pollen-mediated gene flow in transgenic insect-resistant cotton
..... ZHU Jialin, HE Juan, NIU Jianqun, et al (6803)

Autecology & Fundamentals

- Ecological characteristics of benthic diatoms, protozoa and meiobenthos in the sediments of the Changjiang Estuary and East China
Sea in spring MENG Zhaoctui, XU Kuidong (6813)
- Macrobenthic functional groups at the reclamation and natural tidal flats of Hengsha East Shoal, the Estuary of Changjiang River
..... LV Weiwei, MA Chang'an, YU Ji, et al (6825)
- Enrichment and ecological risk of heavy metal in soils and dominant plants in the riparian of the Fenghe River
..... YANG Yang, ZHOU Zhengchao, WANG Huanhuan, et al (6834)
- Effects of salinity and exogenous substrates on the decomposition and transformation of soil organic carbon in the Yellow River
Delta LI Ling, QIU Shaojun, TAN Feifei, et al (6844)
- Effects of short-term dark chilling on leaves carbon and nitrogen metabolism and involved activities of enzymes in mangrove *Kandelia
obovata* seedling ZHENG Chunfang, LIU Weicheng, CHEN Shaobo, et al (6853)
- Preliminary evaluation on tolerance to phosphorous deficiency of 32 cultivars of cut chrysanthemum
..... LIU Peng, CHEN Sumei, FANG Weimin, et al (6863)
- Effects of age and environmental conditions on accumulation of heavy-metals Cd and Cu in *Tegillarca granosa*
..... WANG Zhaogen, WU Hongxi, CHEN Xiaoxiao, et al (6869)
- Effects of Chinese gallnut on photosynthetic characteristics and total nitrogen content of *Rhus chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (6876)
- The characterization of glyphosate degradation by *Burkholderia multivorans* WS-FJ9 LI Guanxi, WU Xiaoqin, YE Jianren (6885)
- Electroantennographic and behavioural responses of scarab beetles to *Ricinus communis* leaf volatiles
..... LI Weizheng, YANG Lei, SHEN Xiaowei, et al (6895)

Population, Community and Ecosystem

- Ecosystem health assessment in Baiyangdian Lake XU Fei, ZHAO Yanwei, YANG Zhifeng, et al (6904)
- Characteristics of macrobenthic communities in mangrove wetlands along the waterways of North Hezhou, Zhuhai, South China
..... WANG Hui, ZHONG Shan, FANG Zhanqiang (6913)
- The interaction between components of ecosystem respiration in typical forest and grassland ecosystems
..... ZHU Xianjin, YU Guirui, WANG Qiufeng, et al (6925)
- Effects of thinning on macro fungi and their relationship with litter decomposition in *Pinus tabulaeformis* plantations
..... CHEN Xiao, BAI Shulan, LIU Yong, et al (6935)

- Beta diversity of plant communities in Baishanzu Nature Reserve TAN Shanshan, YE Zhenlin, YUAN Liubin, et al (6944)
- Effect of Oxytetracycline (OTC) on the activities of enzyme and microbial community metabolic profiles in composting
 CHEN Zhixue, GU Jie, GAO Hua, et al (6957)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Variations in leaf anatomy of *Larix gmelinii* reflect adaptation of its photosynthetic capacity to climate changes
 JI Zijing, QUAN Xiankui, WANG Chuankuan (6967)
- The studying of key ecological factors and threshold of landscape evolution in Yancheng Coastal wetland
 ZHANG Huabing, LIU Hongyu, LI Yufeng, et al (6975)
- Eco-physiological response of *Phragmites communis* to water table changes in the Horqin Sand Land
 MA Yunhua, ZHANG Tonghui, LIU Xinpeng (6984)
- Improvement of snowmelt implementation in the SWAT hydrologic model ... YU Wenjun, NAN Zhuotong, ZHAO Yanbo, et al (6992)
- Responses of lake fluctuation to climate change in Horqin Sandy Land
 CHANG Xueli, ZHAO Xueyong, WANG Wei, et al (7002)
- Water ecology and fractal characteristics of soil particle size distribution of three typical vegetations in Shell Island
 XIA Jiangbao, ZHANG Shuyong, WANG Rongrong, et al (7013)
- Spatio-temporal distribution of epilithic algal chlorophyll a in relation to the physico-chemical factors of Gufu River in Three Gorges Reservoir
 WU Shuyuan, GE Jiwen, MIAO Wenjie, et al (7023)

Resource and Industrial Ecology

- Graphic analysis of spatio-temporal effect for vegetation disturbance caused by coal mining: a case of Datong Coal Mine Area
 HUANG Yi, WANG Yunjia, LI Xiaoshun, et al (7035)

《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

本期责任副主编 余新晓

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 33 卷 第 21 期 (2013 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 21 (November, 2013)

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