

DOI: 10.5846/stxb201812202767

白玛卓嘎, 肖焱, 欧阳志云, 王莉雁. 基于生态系统生产总值核算的习水县生态保护成效评估. 生态学报, 2020, 40(2): 499–509.

Pema Dolkar, Xiao Y, Ouyang Z Y, Wang L Y. Assessment of ecological conservation effect in Xishui county based on gross ecosystem product. Acta Ecologica Sinica 2020, 40(2): 499–509.

基于生态系统生产总值核算的习水县生态保护成效评估

白玛卓嘎^{1,2}, 肖焱^{1,*}, 欧阳志云¹, 王莉雁^{1,2}

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 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 本文以国家级重点生态功能区—贵州省习水县为例, 探讨以生态系统生产总值(Gross Ecosystem Product, GEP)为手段评估重点生态功能区生态保护成效的应用方法。通过核算习水县 2000 年和 2010 年的 GEP, 分析各生态系统服务价值及其变化特征来获取其生态保护成效。研究结果显示: 2010 年习水县 GEP 为 223.35 亿元, 是当年该县国内生产总值(Gross Domestic Product, GDP) 的约 4 倍; 2000—2010 年, 习水县 GEP 共增加 37.87 亿元, 增幅为 20.42%。总体上习水县生态保护成效较为显著。主要表现为在 10 年间其提供的生态产品以及调节、文化服务的总价值均呈现增长, 且林地、草地等重要土地利用类型的面积逐步增加。此外, 本文还进一步探究了土地利用变化对生态系统服务价值的影响, 以便揭示生态系统服务价值变化的根源, 从而可以有效保护生态环境, 实现区域经济发展与生态建设相协调。

关键词: 重点生态功能区; 习水; 生态系统生产总值(GEP); 生态系统服务功能; 土地利用变化

Assessment of ecological conservation effect in Xishui county based on gross ecosystem product

Pema Dolkar^{1,2}, XIAO Yi^{1,*}, OUYANG Zhiyun¹, WANG Liyan^{1,2}

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

² University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: We considered the key ecological function area Xishui County of Guizhou Province as the study area and discussed the use of Gross Ecosystem Product (GEP) as a method to assess ecological conservation effects in key ecological function areas. By assessing the GEP of Xishui County in 2000 and 2010, we analysed the current and temporal differentiation characteristics of ecosystem service values to obtain the ecological conservation effect. The results indicated that the GEP of Xishui County was 22.335 billion Yuan in 2010, which is about 4 times the county's gross domestic product (GDP) of the same year; from 2000 to 2010, the GEP increased by 3.787 billion Yuan, with a growth rate of 20.42%. As a whole, the effect of ecological conservation effect in Xishui County is quite remarkable. This can be mainly expressed through increasing values of the amount of ecosystem products and services supplied by Xishui County during the study period (2000–2010). At the same time, the areas of the forestland and grassland of Xishui County have gradually increased. We also explored the effects of land use changes on ecosystem service values, to reveal the causes of changes in these values, which can effectively protect the ecosystems in Xishui County and achieve ecological and economic sustainable development for the region.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0503402)

收稿日期: 2018–12–20; 网络出版日期: 2019–11–04

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

<http://www.ecologica.cn>

Key Words: key ecological function area; Xishui County; Gross Ecosystem Product (GEP); ecosystem service; land use change

在《全国主体功能区规划》中,通过对国土空间的区域性划分,明确提出了“重点生态功能区”的概念。重点生态功能区属于国家限制开发区域,是指承担水源涵养、水土保持、防风固沙等重要生态功能,关系全国或较大范围区域的生态安全,需要在国土空间开发中限制进行大规模高强度工业化城镇化开发,以保持并提高生态产品供给能力的区域^[1]。重点生态功能区的生态系统极其重要,承担着区域性重要的生态保护功能,它不仅可以保障国家的生态安全,而且对于科学发展,人与自然和谐相处以及区域协调发展具有重要的示范作用。

尽管近些年重点生态功能区生态环境总体向好发展,但是部分地区生态破坏仍然存在,并表现出边治理边破坏的特征。过去十几年国家实施了退耕还林还草、国家生态公益林工程、天然林保护等多项重大生态保护工程,然而随着大量耕地的退耕,在一些重点生态功能区又出现了新的耕地开垦。另外,由于城镇、交通以及工矿用地大量增加,也造成了大量的草地与林地的减少^[2]。国家非常重视重点生态功能区的环境保护和生态建设,考虑到国家重点生态功能区大多分布在我国中西部贫困地区,经济发展水平相对落后,保护生态环境,势必在经济效益上“吃亏”。为此,在十八届三中全会《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》“十四、加快生态文明制度建设”一节中,提出“对限制开发区域和生态脆弱的国家扶贫开发工作重点县取消地区生产总值考核”^[3]。对这些地区,不再简单地以GDP论英雄,将以GDP优先的绩效考核方式转变为以生态保护优先的绩效考核方式。为国家提供生态产品保障国家生态安全,不再仅追求经济增长,已成为这些地区社会发展的另一个主要目标,且国家给予这些地区相应生态补偿以保障当地生态环境与社会经济的协调发展。通过评价重点生态功能区的生态保护成效,可以有效保护生态环境,实现区域经济发展与生态建设相协调。

评估生态系统服务价值及其动态变化是评估区域生态保护成效的重要途径。对于生态系统服务功能评价最早可追溯到19世纪下半叶。20世纪70年代以后,关于生态系统服务功能的定量研究开始出现。许多国家机构、研究组织以及经济学家和生态学家先后运用环境经济学、生态经济学等经济定量评价方法对生态系统服务价值进行了评价,积累了丰富的实验研究资料。1972年,美国国家自然资源调查局开始采用野外抽样调查统计方法开展国家生态服务价值调查和评估工作,并且按5年为周期对外发布。20世纪90年代,是生态系统服务功能价值评估研究的黄金时期,该研究从理论到实践都得到了快速发展。1997年,由美国生态学会组织、Gertchen Daily负责的对生态系统服务进行系统研究的课题组出版了论文集《Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems》^[4],此书系统地介绍了生态系统服务功能的内容与评价方法,同时分析了不同地区森林、湿地、海岸等生态系统服务功能价值评价的多个实例。同年,Costanza等在Nature上发表的“The value of the world's ecosystem services and natural capital”^[5]一文,掀起对生态系统服务功能价值评估的研究热潮,该文中提到的价值估算方法也得到国内外学者的竞相参考引用。该文将全球生态系统服务功能归纳为17种类型,并按16种生物群系以货币形式进行估算,得到全球生态系统产生的总经济价值约为33万亿美元,为全球国民生产总值(Gross National Product, GNP)的1.8倍。同时文章还指出生态系统的公益价值和产生这种价值的自然资本积累对地球生命支持系统的功能至关重要,他们直接和间接地为人类提供福利,因此是全球经济总价值的一部分。2001年,联合国启动的千年生态系统评估(Millennium ecosystem assessment, MA),开展了对全球尺度和33个区域尺度的“生态系统与人类福利”研究,系统评估了全球生态系统的过去、现在及未来,推进了生态系统服务的理论、方法及其应用研究的开展,是目前该领域规模最大的评估工作。

国内对生态系统服务功能价值的研究始于20世纪80年代,到1990年以后不同尺度、不同角度的评估结果陆续面世。赵景柱等^[6]根据Constanza等^[5]的研究成果对全球13个主要国家的区域生态系统服务价值进

行测算,这是少有的国内对于全球尺度的生态系统服务价值进行评估的研究之一。在对全国生态系统服务价值评估中,欧阳志云等^[7]从有机物质生产、固碳释氧、营养物质循环与贮存、水土保持、涵养水源、环境污染净化等方面对我国陆地生态系统的服务价值进行了评估;陈仲新和张新时^[8]参照 Constanza 等^[5]的分类方法与经济参数,将我国划分为 10 类陆地生态系统和 2 类海洋生态系统进行功能与效益的价值评估;潘耀忠等^[9]结合遥感技术,对我国陆地生态系统的生态资产价值进行了估算。除了对全球、全国等大尺度生态系统进行服务价值评估外,我国学者对相对较小尺度如城市、风景保护区、县域等也进行了研究评估。徐俏等^[10]把对自然生态系统的评价方法探索性地应用于对广州市城市生态系统服务功能价值的评估中;薛达元等^[11]对长白山自然保护区生态系统的生物多样性旅游价值进行了评估;张丹等^[12]评价了贵州省从江县传统农业区生态系统服务功能的经济价值。在对单个生态系统的经济价值评估方面,侯元兆等^[13]从土壤保育效能、水源涵养效能、固碳供氧效能三个方面对我国森林资源的生态效益进行了评估;谢高地等^[14]参照 Constaza 等^[5]提出的方法,在对草地生态系统服务价格根据其生物量订正的基础上,对我国自然草地生态系统生态服务价值进行了评估。此外,有学者对生态系统的单项服务功能价值进行了评估。马长欣等^[15]对陕西省森林生态系统固碳释氧服务功能的价值进行了评估;许旭等^[16]基于多源遥感数据对河北张家口、承德、唐山和秦皇岛四地的生态系统保育土壤功能价值进行了估算。生态系统服务价值评估的最终目的是为环境决策和管理服务。近年来,国内多位学者开始研究生态系统价值与可持续发展以及生态补偿等的关系。如欧阳志云和王如松^[17]探讨生态系统服务功能与可持续发展研究的关系;王振波等^[18]对生态系统服务功能与生态补偿的关系进行了研究。随着研究的进一步深化和技术的不断发展,目前,对生态系统服务价值的时空变化方面的研究也逐渐增多。高清竹等^[19]利用遥感技术研究了海河上游农牧交错地区生态系统服务价值的变化。此外,闵捷等^[20]、曾杰等^[21]、赵亮等^[22]都对生态系统服务价值的时空变化进行了分析研究。

受 Constanza 等^[5]和 Daily 等^[4]研究成果的启发,2012 年,我国学者提出了“生态系统生产总值(Gross Ecosystem Product, GEP)^[23]”这一概念,旨在建立一套与国内生产总值(Gross Domestic Product, GDP)相对应的、能够衡量生态良好的统计与核算体系。GEP 是指一定区域在一定时间内生态系统为人类提供的最终产品和服务的价值总和,一般以一年为核算时间单元。通过计算草原、沙漠、森林、湿地等自然生态系统以及农田、牧场、水产养殖场等人工生态系统的生产总值,来衡量和评价生态系统的功能和状况^[24]。相较于国内外大多数研究结果只是给出某类自然资源的经济价值评估数据,GEP 包含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,更能完整、充分地反映生态系统的功能和状况,更易于唤起全社会对于生态环境保护的重视。此外,欧阳志云等^[25]指出 GEP 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。借此本研究选取 GEP 这一指标作为重点生态功能区生态保护成效绩效考核的手段。

2016 年 09 月 29 日国务院印发《关于同意新增部分县(市、区、旗)纳入国家重点生态功能区的批复》,其中贵州省习水县被新纳入国家重点生态功能区。习水县地处长江、珠江上游,生态区位重要。在我国全面推进生态文明建设的宏观背景下,习水县致力于建设“生态习水”的目标和“生态立县”的战略,积极推动天然林保护工程、退耕还林工程等生态保护工程的实施,推进习水县生态健康发展。基于此,本文选择国家重点生态功能区—习水县为研究对象,核算习水县 2000 年和 2010 年的 GEP,分析并探讨习水县生态系统服务价值的动态变化特征以获取其生态保护成效。同时进一步研究土地利用变化对生态系统服务价值的影响,以便揭示生态系统服务价值变化的根源。为促进该区域生态安全和可持续发展、为国家重点生态功能区生态系统管理、生态保护以及生态补偿提供重要科学依据。

1 研究区概况

习水县位于贵州北部,在大娄山山系西北坡与四川盆地南缘的过渡地带,地理坐标 105°50′—106°44′E, 28°06′—28°50′N。境内属亚热带湿润季风气候,年均气温 13.1℃,多年平均降水量 1073.9mm,多年平均蒸发

量 961.0mm, 年均相对湿度 82%—91%。境内属中山峡谷地貌, 地势东高西低, 最高处海拔 1871.9m, 最低处 275m。县域内有赤水河、习水河、桐梓河等长江支流, 属于长江中上游生态保护的核心区域, 域内西北部有贵州省面积最大的自然保护区—贵州习水中亚热带常绿阔叶林国家级自然保护区。

习水县有林地、草地、湿地、耕地等各种土地利用类型(图 1), 其中林地的面积最大, 占习水县总面积的 50%以上。2000—2010 年, 习水县各土地利用类型中, 林地面积的增幅最大, 其次为草地, 它们的增幅分别为 7.29%、7.10%。此外, 随着“退耕还林还草”土地政策的实施, 耕地面积减少明显, 在 10 年间面积减少 163.99 km², 减幅为 21.44%(表 1)。

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究采用的主要数据来自“全国生态环境十年变化遥感调查评估”项目数据库。其中土地利用类型主要基于 Landsat TM 数据采用的面向对象的分类技术获取; 数字高程模型 DEM, 空间分辨率为 90m, 来源于国际科学数据服务平台; 降水与温度数据, 基于普通薄盘和局部薄盘样条函数插值理论, 来源于中国国家计量信息中心/中国气象局(NMIC/CMA); 实际蒸散发数据, 主要用到 MODIS 全球蒸散发产品(MOD16)和气象局基于站点的插值数据, 数据来源于陆地过程分布式数据档案中心(LP DAAC)和中国科学院地理科学与资源研究所; 土壤属性数据以及多年平均太阳辐射数据由寒区旱区科学数据中心提供; 产品提供中各产品产量和单价来自习水县各相关部门。

表 1 习水县土地利用类型、面积及其变化

Table 1 Land use types and their areas in Xishui County

土地利用类型 Land use types	2000 年	2010 年	2000—2010 年	
	面积/km ²	面积/km ²	面积变化量/km ²	面积变幅/%
林地 Forestlands	1621.74	1739.99	118.25	7.29
草地 Grasslands	608.17	651.34	43.16	7.10
耕地 Croplands	764.92	600.92	-163.99	-21.44
湿地 Wetlands	5.15	5.14	-0.01	-0.16
人工表面 Settlements	40.39	42.86	2.46	6.10
其他 Other lands	34.71	34.83	0.12	0.35

2.2 核算指标体系与价值评估方法

本研究结合习水县生态系统特征、结构和生态过程的特点, 以生态系统服务功能价值核算的理论和方法为基础, 将习水县生态系统的 GEP 核算分为生态系统产品提供价值、调节服务价值和文化服务价值 3 大类 20 项功能指标(表 2)。

2.3 土地利用变化与生态服务价值

土地利用是人与自然交叉最为密切的环节, 土地利用以及由此导致的土地覆被变化影响着生态系统的结构和功能, 从而导致了生态系统服务价值的变化。研究土地利用变化对生态系统服务价值变化的影响对于了解区域生态环境变化、维持生态平衡等具有重要意义^[45]。对于习水县来说, 探究土地利用变化对生态系统服务价值变化的影响, 有助于对习水县制定合理的生态发展战略, 从而促进习水县实现经济发展与生态建设相

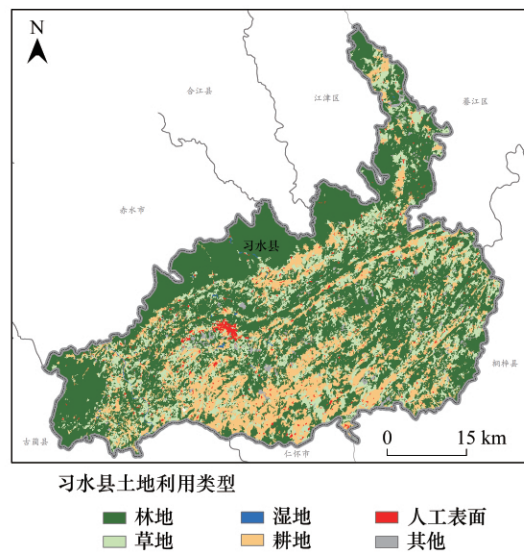


图 1 2010 年习水县土地利用类型分布

Fig.1 The distribution of land use types of Xishui County in 2010

协调。本文关于土地利用变化对生态系统服务价值变化的影响采用最为直观的分析方法——土地利用转移矩阵。依据习水县 2000 年和 2010 年土地利用类型图,运用 ArcGIS 软件空间分析功能,获取习水县 2000—2010 年的土地利用转移矩阵,转移矩阵可全面又具体地刻画区域土地利用和覆盖变化的结构特征及各用地类型变化的方向。

表 2 习水县生态系统生产总值核算指标体系与方法

Table 2 Assessment index system and method for Gross ecosystem product (GEP) of Xishui County

核算功能 Assessment services	核算指标 Assessment indexes	价值量评估方法 Assessment methods
产品提供服务 Provisioning services	农业产品	市场价值法 $V_p = \sum_{i=1}^j (Q_{p_i} \times P_{p_i})$ 式中, V_p 为产品提供功能价值; Q_{p_i} 为 i 产品的产量; P_{p_i} 为 i 产品的单价
	林业产品	
	畜牧业产品	
	渔业产品	
	水资源 生态能源 其他(装饰 观赏资源)	
调节服务 Regulating services	水源涵养	影子工程法 $V_w = Q_w \cdot P_w \quad Q_w = \sum_{i=1}^j (P_i - R_i - ET_i) \cdot A_i$ 式中, V_w 为水源涵养服务的价值(元/a); Q_w 为水源涵养量(m^3/a); P_w 为水库单位库容的工程造价(元/ m^3) ^[26] ; P_i 为降雨量(mm); R_i 为暴雨径流量(mm); ET_i 为蒸散发量(mm); A_i 为 i 类生态系统的面积(m^2)
	保土减淤	替代成本法 $V_s = \lambda \cdot \frac{A_s}{\rho} \cdot P_s$ 式中, V_s 为保土减淤价值(元/a); λ 为泥沙淤积系数 ^[7] ; A_s 为土壤保持量(t/a); ρ 为土壤容重(t/m^3) ^[27] ; P_s 为水库清淤工程费用(元/ m^3) ^[26]
	保土减少面源污染	机会成本法 $V_d = A_s \cdot C_N \cdot P_N + A_s \cdot C_P \cdot P_P$ 式中, V_d 为保土减少面源污染价值(元/a); A_s 为土壤保持量(t/a); C_N 、 C_P 分别为土壤中氮、磷的纯含量(%) ^[27] ; P_N 、 P_P 为氮和磷的环境工程降解成本(元/t) ^[28]
	湖泊调蓄	影子工程法 $V_l = e^{4.904} \cdot A^{0.927} \cdot T \cdot P_w$ ^[29] 式中, V_l 为湖泊洪水调蓄价值(元/a); A 为湖泊总面积(km^2); T 为湖泊换水次数(次); P_w 为水库单位库容的工程造价(元/ m^3) ^[26]
	水库调蓄	影子工程法 $V_r = C_t \cdot 0.35 \cdot P_w$ ^[29] 式中, V_r 为水库洪水调蓄价值(元/a); C_t 为水库总库容(万 m^3); P_w 为水库单位库容的工程造价(元/ m^3) ^[26]
	大气净化	替代成本法 $V_a = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (Q_{ij} \cdot S_i \cdot P_j)$ 式中, V_a 为大气净化价值(元/a); Q_{ij} 为 i 类(森林、灌丛、草地)生态系统单位面积吸收 j 类大气污染物(二氧化硫、氮氧化物、工业粉尘)的量($\text{t km}^{-2} \text{a}^{-1}$) ^[30-36] ; S_i 为 i 类生态系统的面积(km^2); P_j 为 j 类大气污染物的单位治理成本(元/t) ^[28]
	水质净化	替代成本法 $V_z = \sum_{i=1}^n (Q_i \cdot A \cdot P_i)$ 式中, V_z 为水质净化价值(元/a); Q_i 为 i 类水质污染物(COD、总氮、总磷)的单位面积净化量($\text{t km}^{-2} \text{a}$) ^[37-39] ; A 为湿地生态系统的面积(km^2); P_i 为 i 类水质污染物的单位治理成本(元/t) ^[28]

续表

核算功能 Assessment services	核算指标 Assessment indexes	价值量评估方法 Assessment methods
	固碳	造林成本法 $V_c = Q_c \cdot P_c$ 式中, V_c 为固碳价值(元/a); Q_c 为固碳量(t/a); P_c 为造林成本价格(元/t) [7 40-42]
	释氧	工业制氧成本法 $V_o = Q_o \cdot P_o$ 式中, V_o 为释氧价值(元/a); Q_o 为释氧量(t/a); P_o 为工业制氧价格(元/t) [7 42]
	植被气温调节	替代成本法 $V_g = \left[\sum_{i=1}^j GPP \cdot S_i \cdot d / (3600 \cdot R) \right] \cdot c$ 式中, V_g 为生态系统植被蒸腾降温的价值(元/a); GPP 为不同生态系统类型单位面积蒸腾消耗热量($\text{kJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) [43-44]; S_i 为 i 类(森林、灌丛、草地)生态系统的面积(km^2); d 为空调开放天数(天); R 为空调能效比,取3; c 为习水县电价(元 $\text{kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) $V_e = [E \cdot \rho \cdot q / (3600 \cdot R)] \cdot c$
	水面气温调节	替代成本法 式中, V_e 为水面蒸发降温的价值(元/a); E 为水面蒸发量(m^3); ρ 为水的密度(kg/m^3); q 为挥发潜热(J/g); R 为空调能效比,取3; c 为习水县电价(元 $\text{kW}^{-1} \text{h}^{-1}$)
	病虫害控制	替代成本法 $V_f = S \cdot (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot P_c$ 式中, V_f 为病虫害控制价值(元/a); S 为天然林面积(km^2); γ_1 、 γ_2 分别为人工林、天然林的病虫害发生率(%); P_c 为森林病虫害防治费用(元/ km^2)
文化服务 Cultural services	景观游憩	旅行费用法 $V_u = CC \cdot CS$ 式中, V_u 为景观游憩价值(元/a); CC 为消费者支出(元); CS 为消费者剩余(元)

3 结果与分析

3.1 生态系统生产总值

2010年习水县生态系统生产总值(GEP)为223.35亿元(表3),是当年该县国内生产总值(GDP)的约4倍。习水县生态系统服务功能价值较大,保护习水县生态系统不仅能够保护人们的福祉,还对保障我国生态安全具有重要意义。

2010年习水县GEP三大服务功能中,调节服务价值最大,为170.18亿元,占GEP总值的76.19%。产品服务价值和调节服务价值分别为33.37亿元和19.80亿元,占GEP的14.94%和8.86%。调节服务是习水县生态系统提供的核心服务,为调节习水县生态环境贡献突出。

习水县几项服务功能指标的价值量大小依次为:植被温度调节>水源涵养>景观游憩>畜牧业产品提供>农业产品提供>水面温度调节>释氧>固碳>保土减淤>保土减少面源污染>水库调蓄>水资源提供>林业产品提供>其他产品(装饰观赏资源)提供>生态能源提供>大气净化>渔业产品提供>湖泊调蓄>病虫害控制>水质净化。其中植被温度调节和水源涵养功能的价值较大,它们价值的和占调节服务价值的82%,占GEP总值的62%。这与习水县森林覆盖率高、水系发达、水资源量充沛的自然地理特征有较为紧密的关系,同时也表明习水县的林地、草地等重要生态系统的生态保护成效较为显著。

从习水县不同用地类型来看,林地的生态系统服务价值最大,为136.89亿元,其次为草地、耕地,湿地的生态系统服务价值最小,它们的价值分别占习水县2010年GEP总值的61.29%、20.32%、15.29%、3.11%。此外,林地的水源涵养、保土减淤、保土减少面源污染、大气净化、固碳、释氧、温度调节等重要生态功能的价值均较其他生态系统大。上述可论证习水县林地的生态重要性,习水县广袤的森林生态系统为促进区域生态保护与安全、构筑两江上游生态屏障起到了积极作用。

<http://www.ecologica.cn>

表 3 2010 年习水县生态服务功能价值/亿元

Table 3 Ecosystem services values of Xishui County in 2010

核算功能 Assessment services	核算指标 Assessment indexes	价值 Economic value					总价值 Total value
		林地	草地	耕地	湿地	合计	
产品提供 Provisioning services	农业产品	—	—	14.0463	—	14.0463	33.37
	林业产品	1.2722	—	—	—	1.2722	
	畜牧业产品	—	14.7298	—	—	14.7298	
	渔业产品	—	—	—	0.0350	0.0350	
	生态能源	0.0306	—	0.2550	0.0221	0.3077	
	水资源	—	—	—	2.4705	2.4705	
调节服务 Regulating services	其他(装饰观赏资源)	0.5120	—	—	—	0.5120	170.18
	水源涵养	41.6886	15.1287	—	0.0400	56.8573	
	保土减淤	2.8095	0.7126	0.3842	—	3.9063	
	保土减少面源污染	2.8019	0.7107	0.3831	—	3.8957	
	湖泊调蓄	—	—	—	0.0160	0.0160	
	水库调蓄	—	—	—	2.9652	2.9652	
	大气净化	0.2309	0.0049	—	—	0.2358	
	水质净化	—	—	—	0.0056	0.0056	
	固碳	4.5583	0.0161	0.0728	0.00004	4.6472	
	释氧	6.7388	0.0238	0.1076	0.0001	6.8701	
	植被温度调节	65.5480	9.2998	6.9940	—	81.8418	
	水面温度调节	—	—	8.5353	0.3952	8.9305	
	病虫害控制	0.0060	—	—	—	0.0060	
	文化服务 Cultural services	景观游憩	10.6920	4.7520	3.3660	0.9900	
合计 Total		136.8887	45.3784	34.1441	6.9396	223.3508	223.35

3.2 生态系统生产总值变化特征

2000—2010 年,习水县生态系统生产总值(GEP)由 164.82 亿元到 223.35 亿元(表 4),剔除物价因素,实际增加 37.87 亿元,实际增幅 20.42%(基于 2010 年不变价,以下内容中增量增幅均为实际增量增幅)。习水县生态系统服务功能价值在 10 年间增长较为明显,生态保护成效较为显著。

2000—2010 年,习水县生态产品供给量以及生态服务提供量逐步增强,产品提供功能、调节服务功能、文化服务功能的价值均呈增长趋势。产品提供功能价值由 15.12 亿元到 33.37 亿元,实际增加 10.47 亿元,增幅 45.71%。10 年间习水县生态产品供给能力逐步增强,保障了当地及周边人民日益增长的物质需要;调节服务功能价值由 149.06 亿元到 170.18 亿元,实际增加 8.40 亿元,增幅相对较小,为 5.19%。虽然价值量增加相对较少,但水源涵养、大气净化、固碳、释氧等重要生态功能价值均呈现较为稳定的增加,生态环境质量得到了逐步改善,为区域的生态安全提供了有效保障;文化服务功能价值由 0.64 亿元到 19.80 亿元,实际增加 19.01 亿元,增幅高达 2396.74%。可见这期间习水县旅游产业经历了高速的发展,同时也归因于习水县林地、草地等用地类型生态质量的提升。

3.2.1 不同服务功能指标的价值变化

2000—2010 年,习水县多项服务功能指标的价值呈现增长趋势(表 4),总体上习水县生态保护成效较为显著。10 年间各项服务功能指标中价值量变化最大的是景观游憩功能,其价值量增加 19.01 亿元,增幅高达 2396.74%。渔业产品、林业产品、农业产品和其他产品(装饰观赏资源)的价值增幅次之,在 63%—221%之间。价值增幅最小的是病虫害控制功能,其价值增加了 1.06%,可见习水县对天然林的保护力度、保护方法仍有待进一步加强与改善。在 10 年间习水县有 3 项功能指标的价值呈减少趋势,其中湖泊调蓄的减幅最大,其价值减少了 50%。水面温度调节和水质净化的价值分别减少了 2.07%、0.16%。由此推断出习水县湿地的生

态保护成效较其他用地类型相对较弱,未来需要更加关注对湿地的保护。

表 4 2000—2010 年习水县生态服务功能价值变化
Table 4 Changes of ecosystem services values of Xishui County from 2000 to 2010

服务功能 Services	服务指标 Indexes	价值 Economic value/亿元		2000—2010 年(可比价) From 2000 to 2010(comparable value)	
		2000 年	2010 年	变化量(亿元)	变幅/%
产品提供 Provisioning services	农业产品	4.574	14.046	6.337	82.20
	林业产品	0.325	1.272	0.792	164.84
	畜牧业产品	8.423	14.730	2.664	22.08
	渔业产品	0.002	0.035	0.024	221.34
	生态能源	0.127	0.308	0.040	15.01
	水资源	1.536	2.471	0.414	20.13
	其他(装饰观赏资源)	0.128	0.512	0.198	63.06
	小计	15.12	33.37	10.47	45.71
调节服务 Regulating services	水源涵养	43.017	56.857	3.763	7.09
	保土减淤	3.114	3.906	0.059	1.53
	保土减少面源污染	3.837	3.896	0.059	1.53
	湖泊调蓄	0.026	0.016	-0.016	-50.00
	水库调蓄	2.362	2.965	0.049	1.69
	大气净化	0.218	0.236	0.018	8.38
	水质净化	0.006	0.006	-0.00001	-0.16
	固碳	3.331	4.647	0.533	12.95
	释氧	5.522	6.870	0.788	12.95
	植被温度调节	78.508	81.842	3.334	4.25
水面温度调节	9.119	8.930	-0.189	-2.07	
病虫害控制	0.004	0.006	0.0001	1.06	
	小计	149.06	170.18	8.40	5.19
文化服务 Cultural services	景观游憩	0.642	19.800	19.007	2396.74
	小计	0.64	19.80	19.01	2396.74
总计 Total		164.82	223.35	37.87	20.42

3.2.2 不同土地利用类型的价值变化

2000—2010 年,各类土地利用类型的服务功能总价值均呈增长趋势(表 5),总体上习水县的生态保护成效较为显著。林地、草地、耕地、湿地的生态系统服务价值分别增加 21.03 亿元、8.95 亿元、6.68 亿元和 1.22 亿元,增幅分别为 18.15%、24.57%、24.30%和 21.27%。其中草地的服务功能价值增幅最大,耕地、湿地次之,林地最小。虽然林地价值增幅最小,但在 10 年间林地对 GEP 的贡献最大,林地价值占 GEP 的比例始终在 60% 以上。

表 5 2000—2010 年习水县各土地利用类型总服务价值变化
Table 5 Changes in ecosystem service value of land use types of Xishui County from 2000 to 2010

土地利用类型 Land use types	价值 Economic value/亿元		2000—2010 年(可比价) From 2000 to 2010(comparable value)	
	2000 年	2010 年	变化量(亿元)	变幅/%
林地 Forestlands	106.27	136.89	21.03	18.15
草地 Grasslands	29.94	45.38	8.95	24.57
耕地 Croplands	24.03	34.14	6.68	24.30
湿地 Wetlands	4.58	6.94	1.22	21.27
总计 Total	164.82	223.35	37.87	20.42

3.3 土地利用转移矩阵及特点

本文通过 GIS 空间叠加分析取得习水县 2000—2010 年的土地利用转移矩阵。10 年间,习水县各土地利

用类型的面积发生了不同程度的增减变化(表6)。其中林地、草地、耕地和湿地面积的增减率分别为7.29%、7.10%、-21.44%、-0.16%。耕地、湿地的面积出现了减少的情况。这一结果结合表4推出,习水县水质净化、水面温度调节的价值的减少与湿地面积的减少关联较大;林地、草地面积的增加使得这期间林业产品、畜牧业产品以及固碳、释氧、大气净化、植被温度调节等功能的服务价值增幅明显。上述变化体现着土地利用类型面积的变化与生态系统服务价值变化具有较强的相关性。根据表6反映的土地利用类型的转移流向变化,10年间耕地入不敷出,转出164.03km²,转入0.04km²,转出的土地中约72%的面积转入了林地,约26%的面积转入了草地。与此同时,转入林地的面积最多,转入了约118.40km²,其次为草地,转入林地、草地的面积约99%来源于耕地。表明随着“退耕还林还草”等土地政策的实施,习水县林地、草地面积增加量明显,以此保障了习水县生态系统服务价值保持增长态势。

另一方面,结合表5、表6,2000—2010年间耕地、湿地的面积是下降的,而耕地、湿地的总服务价值却是上升的。再结合表4、表6,耕地、湿地的面积减少,而农业产品、渔业产品和水资源提供的服务价值却显著增加。这说明影响生态系统服务价值变化的不只有土地面积这一因素,还有自然因素如气候、地质状况等以及社会经济因素如城镇化、生产技术等多种因素,这些因素综合作用的结果使得生态系统服务价值的变化呈现复杂性。

表6 2000—2010年习水县土地利用转移矩阵/km²

Table 6 Land use transfer matrix for Xishui County from 2000 to 2010

2000年土地利用类型 Land use types in 2000	2010年土地利用类型 Land use types in 2010						总计 Total	转出面积 Area decrease
	林地	草地	耕地	湿地	人工表面	其他		
林地 Forestlands	1621.596	0.138	0.008	0	0	0	1621.742	0.146
草地 Grasslands	0.243	607.921	0.008	0	0	0	608.172	0.251
耕地 Croplands	118.147	43.278	600.882	0	2.479	0.130	764.915	164.033
湿地 Wetlands	0	0	0.008	5.144	0	0	5.152	0.008
人工表面 Settlements	0	0	0.016	0	40.379	0	40.395	0.016
其他 Other lands	0.008	0	0	0	0	34.700	34.709	0.008
总计 Total	1739.993	651.337	600.923	5.144	42.857	34.830		
转入面积 Area increase	118.398	43.416	0.041	0	2.479	0.130		

4 结论

本文探讨了以生态系统生产总值(Gross Ecosystem Product, GEP)为手段的评估重点生态功能区生态保护成效的应用方法。通过核算重点生态功能区的GEP以及分析生态系统服务价值及其变化特征来获取其生态保护成效,并进一步分析了影响生态系统服务价值变化的因素,为国家重点生态功能区的生态系统管理、生态保护以及生态补偿提供重要依据。本文获取的对重点生态功能区——习水县的生态保护成效主要评估结果为:

(1) 由习水县2010年的GEP核算结果来看:习水县2010年的GEP为223.35亿元,是当年该县国内生产总值(GDP)的约4倍。总体来说生态系统服务功能的价值较大,生态保护成效较为显著;GEP三大服务功能中,调节服务的价值最大,占GEP总值的76.19%,产品提供服务和文化服务的价值分别占GEP的14.94%和8.86%;服务功能指标方面表现为植被温度调节和水源涵养功能的价值较大,它们价值的和占据了GEP总值的62%;从习水县不同土地利用类型来看,林地、草地、耕地、湿地的价值分别占GEP总值的约61.29%、20.32%、15.29%、3.11%。

(2) 由习水县2000—2010年GEP的变化情况来看:习水县在10年间GEP共增加37.87亿元,增幅为20.42%;10年间三大服务功能的价值均呈增长趋势,其中文化服务功能的价值增幅高达2396.74%。其次是产品提供功能,45.71%。调节服务功能的价值增幅相对较小,为5.19%;在服务功能指标方面,习水县多项服

务功能指标的价值呈现增长趋势,其中景观游憩功能的价值增量、增幅最大,其价值量增加19.01亿元,增幅高达2396.74%;在不同土地利用类型方面,林地、草地、耕地和湿地的服务价值均呈上升趋势,它们的增幅分别为18.15%、24.57%、24.30%和21.27%。

5 讨论

评价结果反映了习水县国家重点生态功能区生态保护成效情况。总体上习水县生态保护成效较为显著,开展的各项生态保护工程生态效益逐步显现。体现在其多项服务功能指标和土地利用类型的价值均呈现增长趋势。但不可避免习水县生态状况仍存在问题及隐患,例如湿地面积出现减少、对天然林的保护力度及保护方式仍有待加强与改善等,此外景观游憩价值超大幅增长的背后是旅游产业井喷式的增长,这可能会导致对林地、草地等重要生态系统的负面效应如出现生态退化等。因此,未来习水县在资源开发和管理过程中可以对湿地、天然林进行重点保护和管理,并加强对旅游业的规划和指导。对于天然林,不可一味追求量的增长而忽略林木质量,避免出现林木长势差、生态功能不完善等状况而影响林业的健康发展。关于湿地,可以根据国内外湿地的现状和发展趋势,结合习水县湿地的具体情况,确定湿地保护与管理的内容、布局、重点等,最终制定适合当地实际的湿地保护措施和开发规划。城市规划部门和旅游部门在开发规划过程中应当一直遵循生态保护优先的原则,努力做到生态保护与规划发展的良性循环。

关于对生态系统服务价值影响因素的分析可知,土地利用变化是影响习水县生态系统服务价值变化的主要因素,各土地利用类型面积的变化直接引起了生态服务价值的变化,形成了评估价值动态变化的主体趋势。因此在习水县未来的生态环境管理中,应更多地考虑保护林地、草地等生态服务价值较高的用地类型,控制人工表面用地无序扩张,在维持和改善生态系统服务的前提下,满足当地正常生产生活的用地需求,实现区域生态环境和社会经济的可持续发展。

由于数据的缺乏,自然因素、社会经济因素等对习水县生态系统服务价值变化的影响并未进行具体的定量研究,这是本研究的一个遗憾。另一遗憾就是本文的研究结果存在一定的误差,如遥感数据、气象数据和统计数据的获取与处理过程中不可避免存在误差,参数的选取因年份、区域的不同存在一定的误差等等。虽然研究结果存在一定的误差,但该方法仍可有效实现对区域进行生态系统服务保护成效方面的研究需要,有着重要的应用价值。习水县重点生态功能区各项评估结果可以作为重点生态功能区生态系统管理、生态保护以及生态补偿等决策的重要参考依据,有效减缓重点生态功能区生态环境建设与保护的矛盾,从而实现区域经济发展与生态建设相协调。

参考文献(References):

- [1] 国家发展和改革委员会. 全国及各地区主体功能区规划. 北京: 人民出版社, 2015.
- [2] 李宝林, 袁焯城, 高锡章, 许丽丽. 国家重点生态功能区生态环境保护面临的主要问题与对策. 环境保护, 2014, 42(12): 14-18.
- [3] 中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定. [2018-09-21]. <https://www.mfa.gov.cn/ce/cejm/chn/zggk/t1101725.htm>.
- [4] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington D C: Island Press, 1997.
- [5] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [6] 赵景柱, 徐亚骏, 肖寒, 赵同谦, 段光明. 基于可持续发展综合国力的生态系统服务评价研究——13个国家生态系统服务价值的测算. 系统工程理论与实践, 2003, 23(1): 121-127.
- [7] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 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.
- [8] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值. 科学通报, 2000, 45(1): 17-22.
- [9] 潘耀忠, 史培军, 朱文泉, 顾晓鹤, 范一大, 李京. 中国陆地生态系统生态资产遥感定量测量. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2004, 34(4): 375-384.
- [10] 徐俏, 何梦常, 杨志锋, 鱼京善, 毛显强. 广州市生态系统服务功能价值评估. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2003, 39(2): 268-272.
- [11] 薛达元, 包浩生, 李文华. 长白山自然保护区生物多样性旅游价值评估研究. 自然资源学报, 1999, 14(2): 140-145.

- [12] 张丹, 闵庆文, 成升魁, 刘某承, 肖玉, 张彪, 孙业红, 朱芳. 传统农业地区生态系统服务功能价值评估——以贵州省从江县为例. 资源科学, 2009, 31(1): 31-37.
- [13] 侯元兆, 王琦. 中国森林资源核算研究. 世界林业研究, 1995(3): 51-56.
- [14] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 郑度, 成升魁. 中国自然草地生态系统服务价值. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53.
- [15] 马长欣, 刘建军, 康博文, 孙尚华, 任军辉. 1999-2003 年陕西省森林生态系统固碳释氧服务功能价值评估. 生态学报, 2010, 30(6): 1412-1422.
- [16] 许旭, 李晓兵, 韩念龙. 基于多源遥感数据的生态系统保育土壤价值评估——以河北省北部四地市为例. 国土资源遥感, 2011(3): 123-129.
- [17] 欧阳志云, 王如松. 生态系统服务功能、生态价值与可持续发展. 世界科技研究与发展, 2000, 22(5): 45-50.
- [18] 王振波, 于杰, 刘晓雯. 生态系统服务功能与生态补偿关系的研究. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(6): 17-22.
- [19] 高清竹, 何立环, 黄晓霞, 江源. 海河上游农牧交错地区生态系统服务价值的变化. 自然资源学报, 2002, 17(6): 706-712.
- [20] 闵捷, 高魏, 李晓云, 张安录. 武汉市土地利用与生态系统服务价值的时空变化分析. 水土保持学报, 2006, 20(4): 170-174.
- [21] 曾杰, 李江风, 姚小薇. 武汉城市圈生态系统服务价值时空变化特征. 应用生态学报, 2014, 25(3): 883-891.
- [22] 赵亮, 刘吉平, 田学智. 近 60 年挠力河流域生态系统服务价值时空变化. 生态学报, 2013, 33(10): 3169-3176.
- [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.
- [24] European Commission, Organisation for Economic Cooperation and Development, United Nations, World Bank. System of environmental-economic accounting 2012: experimental ecosystem accounting. (2013) [2016-06-06]. http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/eea_white_cover.pdf.
- [25] 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.
- [26] 国家林业局. LY/T 1721—2008 森林生态系统服务功能评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [27] 吴鹏, 朱军, 陈骏, 姜霞. 贵州习水国家级自然保护区森林土壤理化性状研究. 贵州林业科技, 2011, 39(3): 1-9.
- [28] 国家计委, 财政部, 国家环保总局, 国家经贸委. 排污费征收标准及计算方法. 2003 年第 31 号令.
- [29] 饶恩明, 肖焱, 欧阳志云. 中国湖库洪水调蓄功能评价. 自然资源学报, 2014, 29(8): 1356-1365.
- [30] 韩素芸, 田大伦, 闫文德, 梁小翠, 王光军, 朱凡. 湖南省主要森林类型生态服务功能价值评价. 中南林业科技大学学报, 2009, 29(6): 6-13.
- [31] 马新辉, 孙跟年, 任志远. 西安市植被净化大气质量的测定及其价值评价. 干旱区资源与环境, 2002, 16(4): 83-86.
- [32] 袁正科, 田大伦, 袁穗波. 森林生态系统净化大气 SO₂ 能力及吸 S 潜力研究. 湖南林业科技, 2005, 32(1): 1-4.
- [33] 郑素兰, 王兵丽, 陈凡, 张琼. 10 种园林植物的抑菌作用和滞尘能力研究. 闽南师范大学学报: 自然科学版, 2015, (4): 77-81.
- [34] 李国伟, 赵伟, 魏亚伟, 方向民, 高波, 代力民. 天然林资源保护工程对长白山林区森林生态系统服务功能的影响. 生态学报, 2015, 35(4): 984-992.
- [35] 赵勇, 李树人, 阎志平. 城市绿地的滞尘效应及评价方法. 华中农业大学学报, 2001, 21(6): 582-586.
- [36] 李琦, 孙根年. 西安市林草植被净化大气污染的时间变化及同步性研究. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(1): 73-77.
- [37] 尹发能. 论洞庭湖湿地对污染物的净化作用. 福建地理, 2004, 19(2): 1-5, 12-12.
- [38] 何介南, 康文星. 洞庭湖湿地对污染物的净化功能与价值. 中南林业科技大学学报, 2008, 28(2): 24-28, 34-34.
- [39] 贾军梅, 罗维, 杜婷婷, 李中和, 吕永龙. 近十年太湖生态系统服务功能价值变化评估. 生态学报, 2015, 35(7): 2255-2264.
- [40] 侯元兆, 张佩昌, 王琦. 中国森林资源核算研究. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [41] 薛达元. 生物多样性经济价值评估——长白山自然保护区案例研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [42] 李金昌, 姜文来, 靳乐山, 任勇. 生态价值论. 重庆: 重庆大学出版社, 1999.
- [43] 张彪, 高吉喜, 谢高地, 王艳萍. 北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估. 生态学报, 2012, 32(24): 7698-7705.
- [44] 陈自新, 苏雪痕, 刘少宗, 张新猷. 北京城市园林绿化生态效益的研究(3). 中国园林, 1998, 14(3): 53-55.
- [45] 姚成胜, 朱鹤健, 吕晔, 刘耀彬. 土地利用变化的社会经济驱动因子对福建生态系统服务价值的影响. 自然资源学报, 2009, 24(2): 225-233.