

Research on the Accounting of Gross Ecosystem Production (GEP) at the County Level—A Case Study of Shexian County, Anhui Province

Yumei Liao

Lituo Anda (Shanghai) Environmental Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai, 201108, China

Abstract

Under the guidance of the concept that “green mountains and clear waters are as valuable as mountains of gold and silver”, quantifying the value of ecosystems has become a key issue. This study focuses on Shexian County in Anhui Province, taking 2020 as the accounting period. Refer to the existing theoretical research basis, a GEP accounting system was constructed. Market value methods were adopted to calculate the GEP of Shexian County. The results show that the GEP of Shexian County in 2020 was 543.62 billion yuan, with the value of regulatory services accounting for the highest proportion of 80.45%, among which flood regulation, water source conservation, and climate regulation were the main contributors. The future GEP calculation results can be used as the basis for ecological protection assessment and policy formulation, to promote the realization of the value of ecological products and support the development of ecological industries. However, issues such as the integration of calculation results with economic indicators and the design of value realization mechanisms still need to be addressed.

Keywords

gross ecosystem product (GEP); accounting; ecosystem service function; Shexian County; Ecosystem Products Value Realization

县级尺度生态系统生产总值 (GEP) 核算研究——以安徽省歙县为例

廖玉梅

励拓安答 (上海) 环境工程技术有限公司, 中国 · 上海 201108

摘要

在“绿水青山就是金山银山”理念引领下, 量化生态系统价值成为关键课题。本研究聚焦安徽省歙县, 选取2020年为核算期, 参考已有理论研究基础, 构建生态系统生产总值核算体系, 采用市场价值法等方法核算歙县GEP。结果表明: 歙县2020年GEP为543.62亿元, 调节服务价值占比最高达80.45%, 其中洪水调蓄、水源涵养和气候调节是主要贡献者。未来GEP核算结果可作为生态保护评估与政策制定依据, 推动生态产品价值实现, 助力生态产业发展, 但仍需解决核算结果与经济指标融合及价值实现机制设计等问题。

关键词

生态系统生成总值 (GEP); 核算; 生态系统服务功能; 歙县; 生态产品价值实现

1 引言

生态系统生产总值 (GEP) 是用于量化特定区域生态系统为人类提供的产品和服务总经济价值的评估工具, 全面涵盖了生态物质产品价值、生态系统服务功能价值以及文化服务价值, 可精准反映一个地区在特定时期内生态系统所产生的最终惠宜经济价值。

当前, 国家及地方城市层面虽已积极出台生态产品价值核算的相关计算方法, 但在实际操作中仍暴露出一些短

板, 其中较为突出的是研究尺度不够统一, 尤其是适用于县级尺度的核算方法及相关研究相对不足。鉴于此, 本研究以安徽省歙县为典型案例, 尝试从县级尺度开展 GEP 核算工作, 填补县级尺度 GEP 核算研究的部分空白, 为后续在全国范围内完善和细化不同尺度的生态系统价值核算体系提供坚实的实践依据和理论参考。

2 理论基础

生态系统服务价值评估是 GEP 核算理论基础, 1970 年环境问题批判课题组首次提出生态系统服务功能概念, 1997 年 Costanza 等构建了生态系统服务价值的分析方法。2012 年朱春全等提出建立 GEP 的想法, 反映生态系统运行的总

【作者简介】廖玉梅 (1985–), 女, 中国湖北随州人, 本科, 从事环保技术咨询研究。

体状况。

目前,国家及省级层面的 GEP 核算研究较多,适用于县级尺度的核算方法和研究相对较少,导致县级 GEP 核算在技术选择和实践指导上存在局限性。不同学者采用的核算方法各有不同,各种方法在理论假设、数据需求、计算精度等方面存在差异,使得不同地区 GEP 核算结果可比性差,难以进行统一评估和比较,也不利于从宏观层面把握生态系统价值的整体情况。另外,GEP 核算需要大量的基础数据支持,如生态系统的类型、面积、生物量、生态服务功能等数据,但目前我国生态监测站点和监测指标体系尚不完善,数据获取难度大、成本高,部分数据的准确性与时效性难以保证,这在一定程度上限制了 GEP 核算的精确性和可靠性,也影响了核算结果的有效应用。

3 研究区域概况

歙县位于安徽省南部,由西北黄山山脉、东北天目山脉主峰清凉峰、东南白际山脉三面包围,属黄山市三区四县之一,下辖 28 个乡镇。全县总面积 2123.38km²。

结合歙县生态系统的环境性质和形态特征,以土地调查数据为基础,应用 ArcGIS10.4 软件,将歙县生态系统分为六类,具体包括农田生态系统、城市生态系统、森林生态系统、湿地生态系统、草地生态系统、其他生态系统。

4 计算方法

在《生态系统生产总值(GEP)核算技术规范》(DB3410T 12-2021)等指南基础上,结合歙县生态系统现状特征,构建歙县 GEP 核算体系,从而量化歙县生态产品供给能力、识别生态环境不足与短板。其中,物种供给包括农业产品、林业产品、畜牧业产品、渔业产品、淡水资源、生态能源,主要采用市场价值法;在服务调节中,水源涵养服务、洪水调蓄、土壤保持、污染物净化、气候调节等采用替代成本法,固碳、释氧采用市场价值法;文化服务包括文化旅游,主要采用旅行费用法。

5 结果与分析

5.1 物质产品价值核算

物质产品经济价值计算公式为:

$$V_f = \sum_{i=1}^n (Y_{fi} \times P_i \times \delta_i - C_i) \quad (1)$$

式中, V_f 为直接利用物质产品总价值(元/a); Y_{fi} 为第*i*类直接利用物质产品总产量; n 为同一类型直接利用物质产品的类别数; P_i 为第*i*类直接利用物质产品的价格; δ_i 为溢价系数,默认为 1; C_i 为第*i*类物质产品人工维护和投入的成本(元/a);

经计算,歙县农业产品为 13.55 亿元,林业产品为 1.40 亿元,畜牧业产品 4.73 亿元,渔业产品 0.22 亿元,水产品为 30.89 亿元,生态能源为 0.43 亿元。

5.2 生态系统服务功能价值核算

5.2.1 水源涵养服务功能

水源涵养功能量及价值计算公式为:

$$Q_{wr} = \sum_{i=1}^n A_i \times (P_i - R_i - ET_i) \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$V_{wr} = Q_{wr} \times C \times \delta \quad (3)$$

式中, Q_{wr} 为水源涵养总量(m³/a); A_i 为第*i*类生态系统的面积,(m²); P_i 为第*i*类生态系统的年降雨量(mm/a); R_i 为第*i*类生态系统的年地表径流量(mm/a); ET_i 为第*i*类生态系统的年蒸发量(mm/a); V_{wr} 为水源涵养总价值(元/a); C 为水库单位库容的工程造价(元/m³); δ 为溢价系数,取 1。

经计算,歙县水源涵养总量为 31.55 亿 m³/a,水价按 1.11 元/立方米计,水源涵养价值量为 35.03 亿元。

5.2.2 土壤保持服务功能价值

本研究选用减少面源污染和减少泥沙淤积两个指标来计算土壤保持服务功能价值。

①减少泥沙淤积。

$$Q_{sd} = \lambda \times (Q_{sr}/\rho) \quad (4)$$

$$Q_{sr} = \sum_{i=1}^n R \times K \times L \times S(1 - C \times P) \quad (5)$$

$$V_{sd} = Q_{sd} \times c \quad (6)$$

式中, Q_{sd} 为减少泥沙淤积量(m³/a); Q_{sr} 为土壤保持总量(t/a); λ 为泥沙淤积系数,取 24%; ρ 为土壤容重(t/m³),取 1.318 t/m³; R 为降雨侵蚀力因子; K 为土壤可蚀性因子; L 为坡长因子; S 为坡度因子; C 为植被覆盖因子; P 为水土保持措施因子; A_i 为第*i*类生态系统的面积(m²); V_{sd} 为土壤保持总价值(元/a); c 为水库单位库容清淤工程费用(元/m³)。

取单位面积土壤保持量为 101.21t/(hm²*a),其中农田、森林、草地生态系统单位面积土壤保持量分别为 45.82、42.93 和 119.01t/(hm²*a),得到减少泥沙淤积量为 340.75 万 m³/a,水体清淤单价按 26.85 元/立方米计,土壤保持总价值量为 0.91 亿元。

②减少面源污染。

$$Q_{dpd} = \sum_{i=1}^n Q_{sr} \times C_i \quad (7)$$

$$V_{dpd} = \sum_{i=1}^n Q_{sr} \times C_i \times \varepsilon_i \quad (8)$$

式中, Q_{dpd} 为减少面源污染量(t/a); i 为土壤中氮、磷等营养物质数量, $i=1,2,\dots,n$; Q_{sr} 为土壤保持量(t/a); C_i 为土壤中氮、磷等营养物质的纯含量(%); V_{dpd} 为减少面源污染总价值,单位为元每年(元/a); i 为土壤中氮、磷等营养物质数量, $i=1,2,\dots,n$; C_i 为土壤中氮、磷等营养物质的纯含量(%); ε_i 为环境工程降解氮磷等营养物质的成本(元/a)。

氮磷营养物质的纯含量分别取 0.0018% 和 0.00059%,得到歙县减少氮、磷面源污染量分别为 33683.57t/a、

11040.72 t/a。按治理费用单价氮 3811.50 元/吨、磷 12196.80 元/吨计算,估算减少面源污染总价值为 2.63 亿元。

5.2.3 洪水调蓄服务功能价值

本研究通过建设水库费用成本,运用替代成本法核算湿地生态系统的洪水调蓄价值。

$$Cfm=Cfc+Crc \quad (9)$$

$$Cfc=\sum_{i=1}^n (P_i - R_{fi}) \times A_i \times 10^{-3} \quad (10)$$

$$R_{fi}=P_i \times \beta_i \quad (11)$$

$$Vfm=Cfm \times (Cwe+Cwo) \quad (12)$$

式中: Cfm 为洪水调蓄总量 (m^3/a); Cfc 为森林、灌丛、草地洪水调蓄总量 (m^3/a); Crc 为水库洪水调蓄量 (m^3/a) 取 2390 万 m^3/a ; P_i 为年暴雨降雨量 (mm/a), 按 373.2mm/a 计; R_{fi} 为年暴雨径流量 (mm/a); A_i 为第 i 类生态系统的面积 (m^2); β_i 为第 i 类生态系统平均地表暴雨径流系数, 本次草地、森林径流系数按 0.15 计; n 为核算地域生态系统类型的数量; Vfm 为洪水调蓄总价值 (元/a); Cwe 为水库单位库容的工程造价 (元/ m^3); Cwo 为水库单位库容的运营成本 (元/ m^3)。

计算得森林、草地生态系统洪水调蓄总量为 46548.44 万 m^3/a , 结合水库洪水调蓄量, 洪水调蓄总量为 48938.44 m^3/a , 另外水库造价运营成本按 28.2 元/ m^3 计, 则洪水调蓄总价值为 138.01 亿元。

5.2.4 空气环境净化服务功能价值

用大气污染物净化量作为核算指标, 考虑歙县大气环境质量优于二级标准, 大气污染物净化量即为污染物排放量, 计算公式为:

$$V_{ap}=\sum_{i=1}^n Q_{api} \times C_i \quad (13)$$

式中: V_{ap} 为空气净化总价值 (元/a); Q_{api} 为第 i 种大气污染物的净化量 (t/a), 源自环统数据; C_i 为第 i 类大气污染物的治理成本 (元/t); n 为核算地域大气污染物类型的数量。

氮氧化物、细颗粒物、二氧化硫大气污染物治理单价为 2742.63 元/吨、4879 元/吨、2178.2 元/吨计, 计算空气环境净化服务功能价值 0.04 亿元。

5.2.5 水质环境净化服务功能价值

用水体污染物净化量作为核算指标, 即水体污染物净化量为排放量与随水输送出境的污染物量之差。

$$Q_{wp}=\sum_{i=1}^n [(Q_{ei} + Q_{ai}) - (Q_{di} + Q_{si})] \quad (14)$$

$$V_{wp}=\sum_{i=1}^n Q_{wpi} \times C_i \quad (15)$$

式中: Q_{wp} 为水体污染物净化总量 (t/a); Q_{ei} 为第 i 类污染物入境量 (t/a); Q_{ai} 为第 i 类污染物排放总量 (t/a); Q_{di} 为第 i 类污染物出境量 (t/a); Q_{si} 为污水处理厂处理第 i 类污染物的量 (t/a); n 为核算地域水体污染物类型的数量; V_{wp} 为水环境净化总价值 (元/a); Q_{wpi} 为第

i 类水体污染物的净化量 (t/a); C_i 为第 i 类水体污染物治理成本, 单位: 元/t。

根据歙县环境统计年报数据以及水文站流量数据, 计算得到总磷、氨氮、COD 水体污染物净化总量分别为 96.57 t/a、45.44t/a、2264.83t/a。污水处理厂处理总磷、氨氮、COD 量分别为 1.415 t/a, 17.89 t/a, 116.2 t/a。水环境总磷、氨氮、COD 治理单价按 10891 元/吨、19425.87 元/吨、8712.8 元/吨计, 水环境净化价值总量约为 0.22 亿元。

5.2.6 固碳释氧服务功能价值

①固碳。

$$G_{\text{碳}}=1.63R_{\text{碳}} \times A \times B_{\text{年}} \times F + A \times S_{\text{土壤}} \times F \quad (16)$$

式中: $G_{\text{碳}}$ 为评估林分生态系统年固碳量 (t/a); $R_{\text{碳}}$ 为二氧化碳中碳的含量, 为 27.27%; 为林分面积, 单位: hm^2 ; $B_{\text{年}}$ 为实测林分净生产力, 单位: t/hm^2 ; 森林生态系统平均净初级生产力取 6.583 $t/hm^2 \cdot a$; F 为森林生态系统服务修正系数, 本项目取值 1; $S_{\text{土壤}}$ 为单位面积实测林分土壤的固碳量 (hm^2); F 为森林生态系统服务修正系数, 取值 1。

②释氧。

$$G_{\text{氧}}=1.19A \times B_{\text{年}} \times F \quad (17)$$

式中: $G_{\text{氧}}$ 为评估林分年释氧量, 单位: t/a ; 为林分面积 (hm^2); $B_{\text{年}}$ 为实测林分净生产力, 单位: t/hm^2 ; 取值 6.583 $t/hm^2 \cdot a$; F 为森林生态系统服务修正系数, 本项目取值 1。

计算可知, 歙县固碳量为 968716.31 t/a, 释氧量为 1147670.99 t/a。根据歙县已完成的碳交易价格为 50 元/吨, 2020 年工业用氧 594.8 元/吨, 计算得到固碳价值量为 21.43 万元, 释氧价值量为 68263.47 万元, 即 6.83 亿元。

5.2.7 气候调节服务功能价值

本研究用生态系统蒸腾蒸发消耗的能量作为核算指标, 计算公式为:

$$E_{tt}=\sum_{i=1}^n EPP_i \times S_i \times D \times 10^6 / (3600 \times r) + E_w \times q \times \rho \times \frac{10^3}{3600} + E_w \times y \quad (18)$$

$$V_{tt}=E_{tt} \times P_e \quad (19)$$

式中: V_{tt} 为生态系统蒸腾蒸发消耗的总能量, kWh/a; EPP_i 为第 i 类生态系统单位面积蒸腾消耗热量, $kJ/(m \cdot d)$; S_i 为第 i 类生态系统面积, km^2 ; r 为空调能效比, 取 3.0; D 为空调开放天数, d , 取值 120d 计; E_w 为水面蒸发量, m^3/a ; ρ 为水的密度; q 为挥发潜热, J/g, 取值 2260J/g; y 为加湿器将 1 立方米水转化为蒸汽的耗电, kWh/ m^3 , 取值 100kWh/ m^3 计; n 为核算地域生态系统类型的数量; V_{tt} 为气候调节总价值, 单位为元每年 (元/a); P_e 为电价, 单位为元每千瓦时 (元/kWh)。

本次不同生态系统类型单位蒸腾消耗热量林地为 2837.27kJ/($m^2 \cdot d$), 灌丛为 1300.95kJ/($m^2 \cdot d$), 草地为 969.83kJ/($m^2 \cdot d$)。水面蒸发量约为 12100000 m^3/a 。计算可得,

生态系统蒸腾蒸发消耗的总能量为 4698290.14 万 kWh/a, 根据民用电价 0.54 元 / 千瓦时计算, 气候调节价值量 253.71 亿元。

5.3 文化服务功能价值核算

本次研究选用游客人次作为核算指标, 包括旅游景区和农家乐的游客人次, 旅游服务功能量。根据旅行费用法得到歙县生态旅游总价值为 55.029 亿元。

5.4 生态系统生产总值核算结果

本研究围绕歙县六类生态系统, 选取歙县生态系统生产总值核算所需的指标开展核算工作。2020 年歙县生态系统生产总值为 543.62 万元, 其中歙县生态系统服务功能价值贡献最高, 占当年歙县 GEP 的 80.45%。

6 结语

本次对歙县县级尺度生态系统生产总值的核算工作, 其结果在一定程度上反映了歙县生态系统的价值与贡献。然而, 核算过程中调查方法存在不确定性, 核算数据主要源于统计年鉴、实地调查及遥感影像等, 这些数据来源各有局限性, 实地调查受限于样本数量和范围。另外, 依据现有 GEP 核算理论与规范选取了一系列生态物质产品、调节服务及文化服务指标, 但生态系统复杂多样, 仍可能存在关键生态服务指标被遗漏的情况, 且不同地区生态系统特征各

异, 通用指标体系未必能精准体现歙县生态系统的独特性与重点服务功能。尽管如此, 此次核算研究仍为歙县生态保护与经济发展提供了有益参考。

未来, 针对歙县县域尺度的 GEP 核算结果, 其应用前景广阔但需进一步探索完善。一方面, 可将核算结果作为生态保护成效评估的关键依据, 为当地政府制定生态保护政策、调整生态保护重点区域和方向提供科学支撑, 如依据 GEP 变化趋势确定生态修复优先区域。另一方面, 核算结果还可助力生态产业发展规划, 引导社会资本投入生态产业, 实现生态优势向经济优势的转化。但目前应用过程中, 仍面临诸多挑战, 如核算结果与现有经济指标的融合协调、生态产品价值实现机制的具体设计与实施等, 这些都是后续研究与实践需重点关注和解决的问题。

参考文献

- [1] 郭佳玮, 朱捷缘, 杜建国, 等. 小南海库区生态系统生产总值变化预测与分析[J]. 人民长江, 2024, 55(6): 68-74.
- [2] 谢泽阳. 赣南地区生态系统生产总值时空演变及驱动力研究[D]. 江西: 南昌大学, 2021.
- [3] 廖薇. 黎平县生态系统生产总值(GEP)核算研究[D]. 贵州大学, 2019.
- [4] 张文芳, 段薇, 袁梅. 曲靖市国有海寨林场森林生态系统服务功能价值探讨[J]. 四川林勘设计, 2022(2): 46-50.