

DOI: 10.5846/stxb202104181007

吴之见, 杜思敏, 黄云, 郑博福, 谢泽阳, 罗诚康, 万飞, 朱锦奇. 基于生态系统生产总值核算的生态保护成效评估——以赣南地区为例. 生态学报, 2022, 42(16): 6670-6683.

Wu Z J, Du S M, Huang Y, Zheng B F, Xie Z Y, Luo C K, Wan F, Zhu J Q. Assessment of ecological conservation effect in southern Jiangxi Province based on gross ecosystem product. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(16): 6670-6683.

基于生态系统生产总值核算的生态保护成效评估 ——以赣南地区为例

吴之见¹, 杜思敏², 黄云¹, 郑博福¹, 谢泽阳¹, 罗诚康¹, 万飞¹, 朱锦奇^{1,*}

¹ 南昌大学资源环境与化工学院, 江西生态文明研究院, 南昌 330031

² 江西财经职业学院, 九江 332000

摘要:开展自然生态系统生产总值的评估,对于生态保护政策效益的量化考核,推动生态效益纳入社会经济体系具有重要的意义。赣南地区地处典型的南方丘陵山地带,森林覆盖率高,是赣江、东江上游的重要生态屏障。以赣南为研究区域,基于2000—2018年间3期遥感影像,并运用遥感、地理信息技术的方法,构建了生态系统生产总值的评估指标体系,探讨了将生态系统生产总值(GEP)核算应用于生态保护成效的评估。结果表明:(1)赣南地区2018年生态系统生产总值为10963.26亿元,约为当年GDP的3.9倍;气候调节、水源涵养和洪水调蓄是赣南地区生态系统的核心服务功能,这3项服务价值总和占当年GEP的75.62%;重点生态功能区县的人均GEP高于非重点生态功能区县,而单位面积GEP低于非重点生态功能区县;(2)2000年、2010年和2018年绿金指数(GEP/GDP)分别为5.20、4.19、3.91,呈现出逐年下降的趋势;(3)2000—2018年,赣南地区GEP以可比价计算增幅为21.75%,其中2000—2010年、2010—2018年的年平均增幅分别为1.46%、0.78%,GEP增幅有所减缓,但生态保护成效总体上呈现向好趋势。研究表明,GEP核算结果能很好地反映赣南地区一定时期的生态环境状态和变化,体现生态保护建设工程综合实施效果,为赣南地区后续生态保护建设提供科学依据。

关键词:赣南地区;生态系统生产总值;核算;生态保护成效

Assessment of ecological conservation effect in southern Jiangxi Province based on gross ecosystem product

WU Zhijian¹, DU Simin², HUANG Yun¹, ZHENG Bofu¹, XIE Zeyang¹, LUO Chengkang¹, WAN Fei¹, ZHU Jinqi^{1,*}

¹ Jiangxi Institute of Ecological Civilization, School of Resources, Environmental & Chemical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China

² Jiangxi Vocational College of Finance and Economics, Jiujiang 332000, China

Abstract: Gross Ecosystem Product (GEP) assessment is important to the quantified assessment of the ecological protection policies benefits and to promote ecological benefits into economic and social evaluation system. The Southern Jiangxi Province is a typical southern hilly area, and regarded as an importantly ecological barrier in the upper reaches of the Ganjiang River and Dongjiang River for its high forest cover rate. We built an evaluation index system and used geographic information technology to qualify the value of GEP via three remote sensing images (from 2000 to 2018). By noticing the changes of GEP, we could assess the effectiveness of ecological protection measures. The results showed that: (1) the GEP of Gannan region in 2018 was 1096.326 billion yuan, which was c. a. 3.9 times to GDP. Climate regulation, water conservation, flood regulation and storage were the core service functions of the ecosystem in Southern Jiangxi Province. The

基金项目:国家重点研发计划课题(2017YFC0505601)

收稿日期:2021-04-18; 网络出版日期:2022-04-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Zhujq@ncu.edu.cn

total value of these 3 services accounted for 75.62% of the GEP that year; The per capita GEP of key ecologically functional counties is higher than that of non-key ecological functional counties, while the GEP per unit area is lower than that of non-key ecological functional counties; (2) The Green Gold Indexes (GEP/GDP) in 2000, 2010, and 2018 were 5.20, 4.19, and 3.91, respectively, representing a downward trend elapsed by time; (3) From 2000 to 2018, the GEP in Southern Jiangxi Province increased by 21.75% at comparable value, of which the average annual growth rates from 2000 to 2010 and 2010 to 2018 were 1.46% and 0.78%, respectively. The effectiveness of ecological protection showed a growth trend, but the rate decreased. GEP accounting could exhibit the condition and changes of the ecological environment in a certain period, the comprehensive implementation effectiveness by ecological protection, and provide a scientific basis for subsequently ecological protection in Southern Jiangxi Province.

Key Words: Southern Jiangxi Province; Gross Ecosystem Product (GEP); accounting; eco-conservation effect

我国一向高度重视生态环境保护建设,近十几年来,为应对严峻的环境问题,启动了天然林保护工程^[1]、退耕还林还草^[2]和生态公益林建设等多项重大生态保护与建设工程,提出“国家重点生态功能区”概念^[3],这一系列环境保护政策旨在根本上遏制生态环境恶化,保护生物多样性,促进社会、经济的可持续发展,以保证人类的福祉^[4]。如何选取有效合理的方法对某一行政区域的综合生态保护成效进行直观的评估成为了值得探讨的问题,是现今生态环境领域关注的热点^[5]。目前,关于生态保护成效评估尚未形成完整的理论体系,如部分学者针对林业生态工程实施成效,主要利用 NDVI、植被覆盖度等单一指标进行评价^[6],或以水源涵养、土壤保持、防风固沙等服务功能进行评价^[7],或以水网密度、生物丰度、污染负荷和土地退化等指标,基于权重法和归一化方法计算生态环境质量指数,此类方法简单易行,但缺少生态系统服务相关指标^[8]。随着研究的深入,生态保护成效评估逐渐以生态保护为重心,自然生态状况评估研究逐渐增加,生态系统服务的功能量和经济价值评估开始成为生态保护成效的评价主体^[9]。虽评估生态保护成效评估方法众多,如绿色 GDP 和国民经济核算体系^[10]等,但这些评估方法并未全面考虑到自然生态系统运行状态和生态效益等方面。

针对如何全面考虑自然生态系统运行状态和生态效益,开展生态保护成效评估,我国相关学者做了不少的探索。2012年,我国学者提出了“生态系统生产总值(Gross Ecosystem Product, GEP)^[11]”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。此外,欧阳志云等^[12-13]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。在此概念提出后部分学者开展了基于 GEP 核算的生态保护成效研究,如邹梓颖等基于 GEP 核算体系,评估分析了黔东南苗族侗族自治州生态保护成效评估,结果显示重点生态功能区县的单位面积和人均调节服务价值均高于非重点生态功能区县^[9];白玛卓嘎等^[14]以贵州省习水县为例,开展了国家级重点生态功能区县生态系统生产总值核算,结果表明,2000—2010年,习水县 GEP 增加 37.87 亿元,增幅为 20.42%,总体上生态保护成效较为显著。这些探索初步确定了 GEP 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。借此本研究选取 GEP 这一指标作为赣南地区生态保护成效绩效考核的手段。

赣南地区位于江西南部,是鄱阳湖流域赣江的源头区和珠江支流东江的源头区,也是我国生物多样性的重要保护区和重要生态屏障,在国家生态安全中具有重要的战略地位。该区域生态脆弱,水土流失较为严重^[15],经济发展水平相对落后、基础设施和监管能力薄弱,其多样的生态系统带给人类的许多重要产品和服务并没有完全被认识到,给当地社会经济的可持续发展造成了一定的影响。为此,国家在赣南地区实施了多项生态保护建设工程,包括退耕还林还草、生态公益林建设和低效林改造等。赣南地区已全部纳入退耕还林还草工程范围,自 2002 年开始试点,至 2007 年底结束,在各县市区均有所分布,共完成 1058.94 km²;2012 年出台《国务院关于支持赣南等原中央苏区振兴发展的若干意见》,目的在于提升赣南地区森林质量,深化林业改革,以低质低效林改造为重点。2012—2018 年,完成人工造林 1798.2 km²,森林抚育面积 6713.28 km²,封山

育林面积 1332 km²;目前赣南地区生态公益林区划界定面积 10029.69 km²,其中国家级生态公益林 7694.83 km²、省级生态公益林面积 2334.86 km²,涉及赣南 18 个县市区、九连山国家级自然保护区和赣江源国家级自然保护区。经过上述生态保护工程的建设,截至 2018 年底,赣南地区林地面积 29131.53 km²,其中天然林 20945.57 km²,占林地总面积的 71.9%。考虑到数据的可获取性,选取各项生态保护建设工程实施集中的 2000—2018 年作为研究时段,通过核算赣南地区生态系统生产总值及其变化,对赣南地区的生态系统运行状况和综合生态保护成效进行直观的评估,为管理决策者合理利用和保护生态系统提供依据,促进其生态文明建设和可持续发展。

1 研究区概况

赣南地区地处江西省南部,是赣江流域和东江流域源头区,包括赣州市的 18 个县,总面积 39380 km²,占江西省总面积的 23.6%,为江西省最大的行政区,其中 9 个县被纳入国家重点生态功能区。位于 24°29′—27°09′N,113°54′—116°38′E 之间(图 1),地形以山地、盆地和丘陵为主,是典型的山地丘陵区。研究区平均海拔高度在 300—400 m 之间,多年平均降雨量 1615 mm,多年平均蒸发量 1209 mm,属于亚热带季风气候。林业资源十分丰富,森林覆盖率达 74.54%,是我国商品林基地和重点开发的林区之一。耕地资源有限,经济技术水平落后,为维持经济社会发展,破坏生态环境的情况时有发生。故对该区域的生态系统生产总值进行核算研究,有助于评估该区域一定时期的生态环境状态和变化,体现生态保护建设工程综合实施效果,从而促进当地经济的可持续发展。

赣南地区主要土地用地类型为有林地、疏林地、耕地、草地,共占研究区总面积的 92%。随着“退耕还林还草”土地政策和天然林保护工程的实施,2000—2018 年赣南地区土地利用变化较为显著,耕地、灌木林、疏林地和未利用土地面积分别减少了 72.19 km²、201.95 km²、614.63 km²、0.04 km²,面积占比分别减少了 1.06%、12.82%、8.64%、1.64%;有林地、其他林地、草地、水域、城镇用地面积分别增加了 231.01 km²、141.91 km²、61.24 km²、4.61 km²、450.03 km²,面积占比分别增加了 1.12%、57.57%、2.73%、1.21%、122.55%(表 1)。

表 1 2000—2018 年赣南地区土地利用变化

Table 1 Land Use Change in Southern Jiangxi Province from 2000 to 2018

| 土地用地类型 Land use types | 2000 年/ km ² | 2010 年/ km ² | 2018 年/ km ² | 2000—2010 年 | | 2010—2018 年 | | 2000—2018 年 | |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|
| | | | | 变化量 Variation/ km ² | 比率 Ratio/% | 变化量 Variation/ km ² | 比率 Ratio/% | 变化量 Variation/ km ² | 比率 Ratio/% |
| 耕地 Croplands | 6808.62 | 6949.08 | 6736.43 | 140.46 | 2.06 | -212.65 | -3.06 | -72.19 | -1.06 |
| 有林地 Forestlands | 20636.61 | 21089.96 | 20867.62 | 453.35 | 2.20 | -222.34 | -1.05 | 231.01 | 1.12 |
| 灌木林 Shrublands | 1574.98 | 1356.21 | 1373.03 | -218.77 | -13.89 | 16.82 | 1.24 | -201.95 | -12.82 |
| 疏林地 Sparse forestlands | 7117.10 | 6577.08 | 6502.47 | -540.02 | -7.59 | -74.61 | -1.13 | -614.63 | -8.64 |
| 其他林地 Other Forestlands | 246.50 | 392.73 | 388.41 | 146.23 | 59.32 | -4.32 | -1.10 | 141.91 | 57.57 |
| 草地 Grasslands | 2246.97 | 2170.65 | 2308.21 | -76.32 | -3.40 | 137.57 | 6.34 | 61.24 | 2.73 |
| 湿地 Wetlands | 379.79 | 382.83 | 384.41 | 3.03 | 0.80 | 1.58 | 0.41 | 4.61 | 1.21 |
| 城镇用地 Urban lands | 367.23 | 459.32 | 817.26 | 92.09 | 25.08 | 303.10 | 77.93 | 450.03 | 122.55 |
| 未利用土地 Unuse lands | 2.20 | 2.14 | 2.16 | -0.06 | -2.78 | 0.03 | 1.18 | -0.04 | -1.64 |

2 数据来源与研究方法

2.1 数据资料来源

(1) 土地利用数据由资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>)下载,时间范围包含 2000 年、2010 年、2018 年 3 期影像,分辨率均为 30 m;(2) 地形数据(DEM)由地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)下

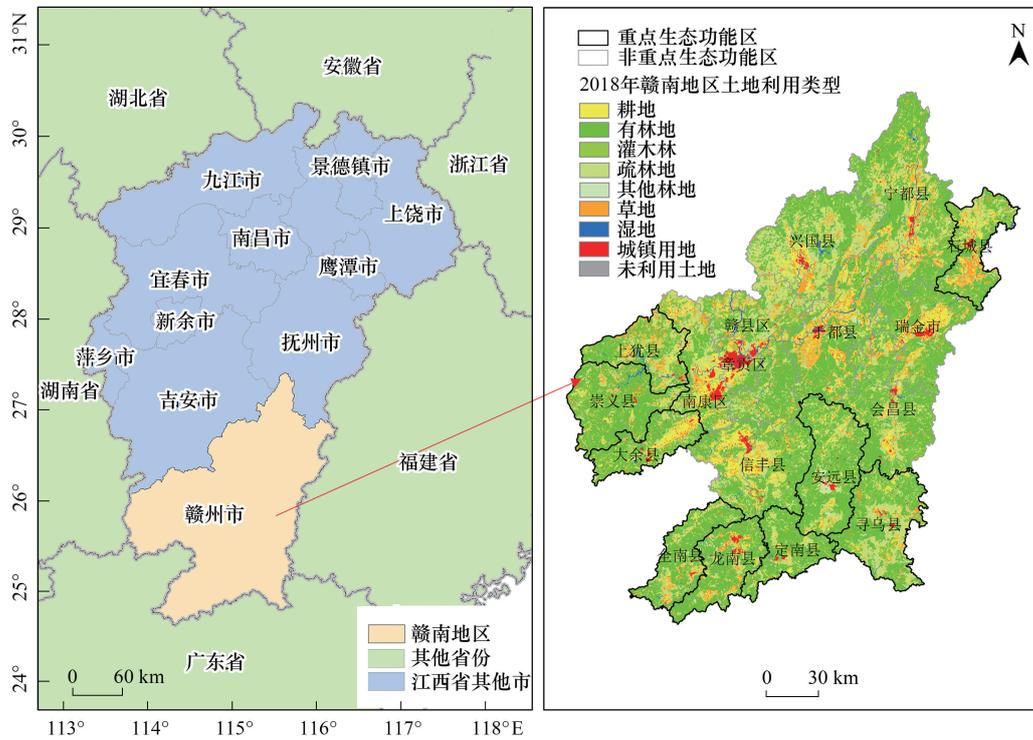


图1 赣南地区区位与生态系统类型图

Fig.1 Map of Location and Ecosystem Types in Southern Jiangxi Province

载,分辨率为 30 m;(3)气象数据由中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)下载,时间为 2000 年、2010 年、2018 年,包括赣南地区 18 个气象站点,有气温、降雨等要素;(4)土壤数据由寒旱区科学大数据中心(<http://bdc.casnw.net/index.shtml>)下载,基于世界土壤数据库(HWSD)的中国土壤数据集,分辨率为 1 km;(5)NPP(植被净初级生产力)由美国 USGS 网站(<http://earthexplorer.usgs.gov>)下载,为 Modis 的 mod17a3 数据,分辨率为 500 m;(6)社会经济统计数据来源于赣州各年份统计年鉴(2000—2018 年)。

2.2 核算指标体系与价值评估方法

结合赣南地区生态系统特征、结构和生态过程的特点,以生态系统服务价值核算的理论和方法为基础,将赣南地区 GEP 核算分为生态系统产品供给价值、调节服务价值和文化服务价值 3 大类 9 项功能指标(表 2)。

3 结果与分析

3.1 生态系统生产总值

赣南地区 2000 年、2010 年和 2018 年 GEP 分别为 7075.93 亿元、9126.12 亿元、10963.26 亿元(表 3),GDP 分别为 268 亿元、1119.74 亿元、2807.24 亿元,其中 2018 年 GEP 是 GDP 的 3.9 倍。赣南地区生态系统服务价值较大,同时赣南地区经济发展增速明显,保护赣南地区生态系统不仅能够保护人们的福祉,还对促进当地可持续发展和保障区域生态安全具有重要意义。

2000—2018 年,赣南地区 GEP 增加 3887.33 亿元(表 4),实施的退耕还林和天然林保护工程等一系列生态保护建设工程效果较为显著。2018 年赣南地区 GEP 三大服务功能中,调节服务价值最大,为 9311.48 亿元,占 GEP 的 84.93%。文化服务价值和产品供给服务价值分别为 1120.26 亿元、531.62 亿元,分别占 GEP 的 10.22%、4.85%。调节服务是赣南地区生态系统的核心服务,为保障赣南地区生态环境贡献突出。

表 2 赣南地区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 Southern Jiangxi Province

| 类别 Types | 服务功能 Services | 功能量评价方法 Functional capacity evaluation method | 价值量评价方法 Value evaluation method |
|-------------------------------|------------------|---|--|
| 产品供给 Provisioning services | | $Y_f = \sum_{i=1}^n Y_{fi}$ 式中, Y_f 为供给产品总产量 (kg/a); Y_{fi} 为 i 类供给产品的产量 (kg/a); n 为核算地域同一类型直接利用供给产品的数量 | 市场价值法: $V_m = \sum_{i=1}^n (Y_{fi} \times P_i)$ 式中, V_m 为直接利用供给产品总价值 (元/a); Y_{fi} 为第 i 类直接利用供给产品总产量 (kg/a); P_i 为第 i 类直接利用供给产品的价格 (元/kg) |
| 调节服务 Regulating services | 水源涵养 | 修正 InVEST 模型法: $Q_{wr} = \min\left(1, \frac{249}{\text{Velocity}}\right) \times \min\left(1, \frac{0.9 \times TI}{3}\right) \times \min\left(1, \frac{K_{\text{sat}}}{300}\right) \times \text{Yield}$ 式中, Q_{wr} 为水源涵养总量 (m^3); Yield 为 InVEST 模型 Water Yield 模块所计算出的研究区产水量 ^[16] ; 模块中所用的降雨数据为多年平均降雨量; Velocity 为流速系数, 以 USDA—NRCS 提供的国家工程手册上的流速-坡度-景观表格为基准, 乘以 1000 得到; TI 为地形指数, 无量纲; K_{sat} 为土壤饱和导水率 ^[17-20] | 影子工程法: $V_{wr} = Q_{wr} \times C$ 式中, V_{wr} 为水源涵养总价值 (元/a); Q_{wr} 为水源涵养总量 (m^3/a); C 为水库单位库容工程造价 ^[21] (元/ m^3) |
| | 土壤保持 | $\text{RKLS} = R \times K \times L \times S$ $\text{USLE} = R \times K \times L \times S \times P \times C$ $Q_{sr} = \text{RKLS} - \text{USLE} + \text{SEDR}$ 式中, Q_{sr} 为土壤保持总量 ^[22-23] (t/a); RKLS 为潜在土壤侵蚀量; USLE 为实际土壤侵蚀量; SEDR 为泥沙持有量; R 为降雨侵蚀力因子 ^[24] (无量纲); K 为土壤可蚀性因子 ^[25] (无量纲); L 为坡长因子 (无量纲); S 为坡度因子 (无量纲); C 为植被覆盖因子 ^[26] (无量纲); A_i 为第 i 类生态系统的面积 (km^2); n 为核算地域生态系统类型的数量 | 替代成本法: $V_{sr} = \lambda \times \left(\frac{Q_{sr}}{\rho}\right) \times C$ $V_b = \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \times P_i$ 式中, V_{sr} 为土壤保持总价值 (元/a); λ 为泥沙淤积系数; Q_{sr} 为土壤保持总量 (t/a); P 为土壤容重 (t/m^3); C 为单位水库清淤工程费用 ^[21, 27] (元/ m^3); C_i 为土壤中 N、P 的纯含量 (%); P_i 为环境工程降解成本 ^[26] (元/t) |
| | 洪水调蓄 | $C_{fm} = C_{fc} + C_{cl} + C_f$ $C_{fc} = \sum_{i=1}^n (P_i - P_{fi}) \times A_i \times 10^3$ $n(C_{cl}) = 1.128 \times \ln(A) + 4.924$ $C_f = 0.35 \times C_i$ 式中, C_{fm} 为洪水调蓄总量 (m^3/a); C_{fc} 为森林、灌丛、草地洪水调蓄总量 ^[28] (m^3/a); P_i 为年暴雨降雨量; P_{fi} 为年暴雨径流量; C_{cl} 为湖泊洪水调蓄量 ^[29] (m^3/a); C_{rc} 为水库洪水调蓄量 (m^3/a); C_f 为防洪库容 (10^4m^3); C_i 为总库容 ($\times 10^4 \text{m}^3$); n 为核算地域生态系统的数量 | 影子工程法: $V_{fm} = C_{fm} \times C_{we}$ 式中, V_{fm} 为洪水调蓄总价值 (元/a); C_{fm} 为洪水调蓄总量 (m^3/a); C_{we} 为水库单位库容的工程造价 ^[21] (元/ m^3) |
| | 水质净化 | $Q_{wp} = \sum_{i=1}^n Q_i \times A$ 式中, Q_{wp} 为生态系统水质净化能力 (t/a); Q_i 为第 i 类水质污染物的单位面积净化量 ^[30] ($\text{t km}^{-2} \text{a}^{-1}$); A 为湿地面积 (km^2) | 替代成本法: $V_{pw} = \sum_{i=1}^n Q_i \times C_i$ 式中, V_{pw} 为水质净化总价值 (元/a); Q_i 为第 i 类水体污染物的净化量 (t/a); C_i 为第 i 类水体污染物单位治理成本 ^[31] (元/t); n 为核算地域水体污染物类型的数量 |
| | 气候调节 | $E_{pt} = \sum_{i=1}^n \text{EPP}_i \times S_i \times D \times \frac{10^6}{3600 \times r}$ $E_{we} = E_w \times Q \times \rho \times \frac{10^3}{3600} + E_w \times y$ 式中, EPP_i 为 i 类生态系统单位面积蒸腾消耗热量 ($\text{kJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) ^[32] ; S_i 为第 i 类生态系统面积 (km^2); r 为空调能效比; D 为空调开放天数; E_{we} 为水面蒸发消耗的能量 (kWh/a); E_w 为水面蒸发量 ^[33] (m^3/a); ρ 为水的密度, 即 $1 \text{g}/\text{cm}^3$; Q 为挥发潜热 (J/g); y 为加湿器将 1 立方米水转化为蒸汽的耗电 ^[34] (kWh/m^3) | 替代成本法: $E_{tt} = E_{pt} + E_{we}$ $V_{tt} = E_{tt} \times P_e$ 式中, E_{tt} 为生态系统蒸腾蒸发消耗的总能量 (kWh/a); E_{pt} 为植被蒸腾消耗的能量 (kWh/a); E_{we} 为水面蒸发消耗的能量 (kWh/a); V_{tt} 为气候调节总价值 (元/a); P_e 为电价 (元/ kWh) |

续表

| 类别 Types | 服务功能 Services | 功能量评价方法 Functional capacity evaluation method | 价值量评价方法 Value evaluation method |
|---------------------------|------------------|---|--|
| | 固碳释氧 | $NEP = NPP - RS$ $RS = 0.22 \times (e^{0.0913 \times T} + \ln(0.03415 \times P + 1)) \times 30 \times 46.5\%$ 式中,NEP 为生态系统固碳总量(t);NPP 为生态系统净初级生产力(t);RS 为土壤呼吸损失碳量 ^[35-36] (t);其中 T 为月均温;P 为月均降雨量 | 替代成本法: $V_c = NEP \times 3.67 \times P_e$ $V_d = NEP \times 3.67 \times P_o$ 式中, V_c 为固碳释氧价值(元); P_e 为 CO ₂ 固定成本(元/t); P_o 为 O ₂ 成本 ^[21,27] (元/t) |
| | 空气净化 | $Q_{ap} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{ij} \times A_i$ 式中, Q_{ap} 为大气污染物净化总量(t/a); Q_{ij} 为第 i 类生态系统对第 j 种大气污染物的单位面积年净化量(t km ⁻² a ⁻¹) ^[34] ;A _i 为第 i 类生态系统面积(km ²);n 为核算地域大气污染物类型的数量 | 替代成本法: $V_{ap} = \sum_{i=1}^n Q_{api} \times C_i$ 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); C_i 为第 i 类大气污染物的治理成本 ^[21,31] (元/t),包括 SO ₂ 、氮氧化物和工业粉尘;n 为核算地域大气污染物类型的数量 |
| 文化服务 Cultural services | 景观游憩 | | 旅行费用法: $V_u = CC \times CS$ 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) |

赣南地区几项服务功能指标的价值量大小依次为:气候调节>水源涵养>景观游憩>洪水调蓄>固碳>释氧>农业产品供给>土壤保持>畜牧业产品供给>林业产品供给>渔业产品供给>空气净化>生态能源>水质净化。就不同生态系统服务类型来看,益于赣南地区植被覆盖率高、水系发达、水资源量充沛,调节服务中的气候调节服务价值最大,其次是水源涵养、洪水调蓄,三项服务价值总和占生态系统生产总值的 75.62%,这三项服务为赣南地区自然生态系统的核心服务,印证了赣南地区作为鄱阳湖流域和东江流域重要气候调节区和水源涵养区的重要生态地位。

3.2 生态系统生产总值变化特征

2000—2018 年,赣南地区 GEP 由 7075.93 亿元增长到 10963.26 亿元(表 3),剔除物价因素,实际增加 1958.53 亿元,实际增幅 21.75%(表 4)(基于 2018 年不变价,以下内容中增量增幅均为实际增量增幅)。赣南地区 GDP 由 268 亿元增长到 2807.24 亿元,实际增加 1077.06 亿元,实际增幅 62.25%。赣南地区 GEP 和 GDP 增长较为明显。2000—2010 年 GEP 和 GDP 分别实际增加 1314.29 亿元和 730.83 亿元,增幅分别为 14.60% 和 42.24%。2010—2018 年 GEP 和 GDP 分别实际增加 644.25 亿元和 346.23 亿元,增幅分别为 6.24% 和 14.07%。GEP 增速低于 GDP 的增速,2000 年、2010 年和 2018 年绿金指数(GEP/GDP)分别为 5.20、4.19、3.91,呈现出逐年下降的趋势。

2000—2018 年,赣南地区产品供给价值呈现增长趋势,由 139.56 亿元到 531.62 亿元,实际增加 250.83 亿元,增幅 89.36%(表 4),生态产品供给能力不断增强,保障了当地和周边人民日益增长的物质需要;调节服务中气候调节、固碳释氧、文化服务、水质净化等重要生态功能价值均呈现较为稳定的增长,其中文化服务价值增长最大,由 6.42 亿元到 1120.26 亿元,可见这期间赣南地区旅游产业高速发展,得益于赣南地区生态环境改善以及深厚的红色文化和客家文化传承,也与赣南地区积极响应江西省旅游发展息息相关,实行旅游发展与建设自然保护区、建设生态文明示范区、生态恢复相结合的机制,在保护生态环境的同时发展旅游业,为当地人民收入和生活水平的提高做出突出贡献,生态保护成效显著。

赣南地区 2000—2010 年生态系统调节服务实际增加了 1036.95 亿元,其中洪水调蓄、气候调节、固碳、释氧分别增加了 526.38 亿元、477.35 亿元、24.02 亿元和 15.72 亿元。表明在 2000—2010 年间,随着“退耕还林还草”和天然林保护工程的实施,赣南地区生态保护成效显著。赣南地区 2010—2018 年生态系统调节服务价值实际减少了 433.08 亿元(表 4),其中洪水调蓄、气候调节、水源涵养和土壤保持价值分别减少了 432.04 亿元、59.30 亿元、10.80 亿元和 0.5 亿元,表明在 2010—2018 年间,随着经济的迅速发展,城市化进程加快,存在不少以破坏环境来发展经济的情况,大面积的林地、耕地、草地转化为城镇用地,导致赣南地区生态保护成效有所下降,今后应继续加强生态环境保护。

表 3 2000 年、2010 年和 2018 年赣南地区生态系统服务功能能量和价值量
Table 3 Ecosystem services of Southern Jiangxi Province and their economic values in 2000, 2010 and 2018

| 核算项目 Types | 核算指标 Indexes | 服务功能 Services | 功能量 Physical quantities | | | 单价 Price | | | 价值量(当年价)/亿元 Monetary Value(Current year value) | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------|-------------|--|--|--|---|----------|---------|
| | | | 2000 | 2010 | 2018 | 2000 | 2010 | 2018 | 2000 | 2010 | 2018 |
| 产品供给 Provisioning services | | 农业产品 | — | — | — | — | — | — | 64.28 | 156.05 | 289.29 |
| | | 林业产品 | — | — | — | — | — | — | 8.01 | 21.13 | 57.16 |
| | | 畜牧业产品 | — | — | — | — | — | — | 51.57 | 120.86 | 124.07 |
| 调节服务 Regulating services | | 渔业产品 | — | — | — | — | — | — | 14.49 | 33.45 | 55.02 |
| | | 生态能源 | 2.00 | 7.12 | 9.97 | 0.60(元 kW ⁻¹ ·h ⁻¹) | 0.60(元 kW ⁻¹ ·h ⁻¹) | 0.60(元 kW ⁻¹ ·h ⁻¹) | 1.20 | 4.27 | 5.98 |
| | | 水源涵养 | 170.52 | 169.86 | 168.80 | 5.06(元/m ³) | 7.59(元/m ³) | 10.23(元/m ³) | 862.81 | 1289.27 | 1726.87 |
| | | 土壤保持 | 3.12 | 3.12 | 3.11 | 10.39(元/m ³) | 15.58(元/m ³) | 21.00(元/m ³) | 32.41 | 48.61 | 65.37 |
| | | 洪水调蓄 | 649.59 | 649.82 | 648.30 | 583.33(元/t) | 875.00(元/t) | 1179.40(元/t) | 37.89 | 56.86 | 76.46 |
| 文化服务 Cultural services | | 景观游憩 | 189.62 | 189.69 | 189.25 | 1866.67(元/t) | 2800.00(元/t) | 3774.07(元/t) | 35.40 | 53.11 | 71.42 |
| | | 植物和湖泊调蓄量/(亿 m ³) | 76.98 | 128.44 | 86.21 | 5.06(元/m ³) | 7.59(元/m ³) | 10.23(元/m ³) | 389.54 | 974.84 | 881.88 |
| | | 水库调蓄量/(亿 m ³) | 8.12 | 8.12 | 8.12 | 5.06(元/m ³) | 7.59(元/m ³) | 10.23(元/m ³) | 41.10 | 61.66 | 83.10 |
| | | 净化 SO ₂ 量/(万 t) | 55.00 | 55.46 | 54.92 | 1200.00(元/t) | 1200.00(元/t) | 2400.00(元/t) | 6.60 | 6.66 | 13.18 |
| | | 净化氮氧化物量/(万 t) | 2.24 | 2.24 | 2.22 | 630.00(元/t) | 630.00(元/t) | 1260.00(元/t) | 0.14 | 0.14 | 0.28 |
| | | 净化工业粉尘量/(万 t) | 1.32 | 1.34 | 1.33 | 150.00(元/t) | 150.00(元/t) | 300.00(元/t) | 0.02 | 0.02 | 0.04 |
| | | 净化 COD 量/(万 t) | 4.16 | 4.20 | 4.21 | 466.67(元/t) | 700.00(元/t) | 943.48(元/t) | 0.19 | 0.29 | 0.40 |
| | | 净化氮量/(万 t) | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 583.33(元/t) | 875.00(元/t) | 1179.40(元/t) | 0.02 | 0.03 | 0.04 |
| | | 净化总磷量/(万 t) | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 1866.67(元/t) | 2800.00(元/t) | 3774.07(元/t) | 0.06 | 0.09 | 0.12 |
| | | 植被和水面蒸腾降温湿/(亿 kWh) | 8633.62 | 9429.20 | 9330.37 | 0.60(元 kW ⁻¹ ·h ⁻¹) | 0.60(元 kW ⁻¹ ·h ⁻¹) | 0.60(元 kW ⁻¹ ·h ⁻¹) | 5180.17 | 5657.52 | 5598.22 |
| | 固碳 | 0.72 | 0.76 | 0.83 | 253.33(元/t) | 380.00(元/t) | 512.17(元/t) | 181.63 | 290.26 | 423.34 | |
| | 释氧 | 0.33 | 0.35 | 0.38 | 484.67(元/t) | 727.00(元/t) | 979.87(元/t) | 161.97 | 254.62 | 370.75 | |
| | 生态旅游 | 3.77 | 1400.05 | 10803.44 | — | — | — | 6.42 | 96.37 | 1120.26 | |
| | 生态系统生产总值 Gross ecosystem product | | | | | | | 7075.93 | 9126.12 | 10963.26 | |

表 4 2000—2018 年赣南地区生态系统生产总值变化
Table 4 Change of Gross Ecosystem Product in Southern Jiangxi Province (2000—2018)

| 核算项目 Types | 服务功能 Services | Monetary Value (comparable value)/亿元 | | | | | | 2000—2010 年(可比价) (comparable value) | | 2010—2018 年(可比价) (comparable value) | | 2000—2018 年(可比价) (comparable value) | |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|----------|----------|-------------------------|------------------------|-------------------------|--|-------------------------|--|-------------------------|--|--|
| | | 2000 | 2010 | 2018 | 变化量 Variation/ 亿元 | 变幅 Change rate/% | 变化量 Variation/ 亿元 | 变幅 Change rate/% | 变化量 Variation/ 亿元 | 变幅 Change rate/% | 变化量 Variation/ 亿元 | 变幅 Change rate/% | |
| 产品供给 Provisioning services | 农业产品 | 138.39 | 232.15 | 289.29 | 93.76 | 67.75 | 57.14 | 24.61 | 150.90 | 109.04 | | | |
| | 林业产品 | 18.48 | 36.16 | 57.16 | 17.67 | 95.62 | 21.00 | 58.08 | 38.67 | 209.23 | | | |
| | 畜牧业产品 | 86.67 | 150.42 | 124.07 | 63.74 | 73.55 | -26.35 | -17.51 | 37.40 | 43.15 | | | |
| | 渔业产品 | 35.95 | 45.09 | 55.02 | 9.14 | 25.43 | 9.92 | 22.01 | 19.07 | 53.04 | | | |
| | 生态能源 | 1.20 | 4.27 | 5.98 | 3.07 | 256.16 | 1.71 | 40.06 | 4.78 | 398.85 | | | |
| | 小计 | 280.69 | 468.09 | 531.52 | 187.39 | 66.76 | 63.43 | 13.55 | 250.83 | 89.36 | | | |
| | 调节服务 Regulating services | 水源涵养 | 1744.38 | 1737.67 | 1726.87 | -6.71 | -0.38 | -10.80 | -0.62 | -17.51 | -1.00 | | |
| | | 土壤保持 | 213.68 | 213.75 | 213.25 | 0.07 | 0.03 | -0.50 | -0.23 | -0.42 | -0.20 | | |
| | | 洪水调蓄 | 870.64 | 1397.02 | 964.98 | 526.38 | 60.46 | -432.04 | -30.93 | 94.34 | 10.84 | | |
| | | 空气净化 | 13.52 | 13.63 | 13.50 | 0.11 | 0.83 | -0.13 | -0.97 | -0.02 | -0.15 | | |
| 水质净化 | | 0.55 | 0.56 | 0.56 | 0.00 | 0.44 | 0.00 | 0.45 | 0.00 | 0.89 | | | |
| 气候调节 | | 5180.17 | 5657.52 | 5598.22 | 477.35 | 9.21 | -59.30 | -1.05 | 418.05 | 8.07 | | | |
| 文化服务 Cultural services | 固碳 | 367.20 | 391.22 | 423.34 | 24.02 | 6.54 | 32.13 | 8.21 | 56.14 | 15.29 | | | |
| | 释氧 | 327.47 | 343.19 | 370.75 | 15.72 | 4.80 | 27.56 | 8.03 | 43.28 | 13.22 | | | |
| | 小计 | 8717.61 | 9754.56 | 9311.48 | 1036.95 | 11.89 | -443.08 | -4.54 | 593.87 | 6.81 | | | |
| 合计 Total | 景观游憩 | 6.42 | 96.37 | 1120.26 | 89.95 | 1401.09 | 1023.89 | 1062.46 | 1113.84 | 17349.53 | | | |
| | 小计 | 6.42 | 96.37 | 1120.26 | 89.50 | 1401.09 | 1023.89 | 1062.46 | 1113.84 | 17349.53 | | | |
| 合计 Total | | 9004.73 | 10319.02 | 10963.26 | 1314.29 | 14.60 | 644.25 | 6.24 | 1958.53 | 21.75 | | | |

3.3 各县市区 GEP 变化特征

从赣南地区 2000—2018 年 GEP 各县市区评估结果来看(图 2),赣南地区各县市区 GEP 均为增长态势,生态保护成效较为显著。2000—2018 年,赣南地区国家重点生态功能区县 GEP 增加值在 200 亿元以下,其中定南县 GEP 增加最少,崇义县、上犹县和安远县增加较多。非国家重点生态功能区县 GEP 增加值在 200 亿元以上,南康区、宁都县、赣县区、兴国县增加较多。非重点生态功能区县的 GEP 增加值高于重点生态功能区县 GEP 增加值,主要原因是非国家重点生态功能区县中的南康区休闲旅游高速发展,2018 年文化服务价值达 521.80 亿元,宁都县、赣县区和兴国县森林覆盖度极高,分别为 71%、75%、74.3%,四县 GEP 在 18 个县市区中分别位列第三、第一、第二、第五,这四县的 GEP 总和占赣南地区 GEP 的 35.98%(2018 年)。同时也说明非国家重点生态功能区实现了保护与发展的双赢,也体现了当地政府对生态保护和建设的重视程度。

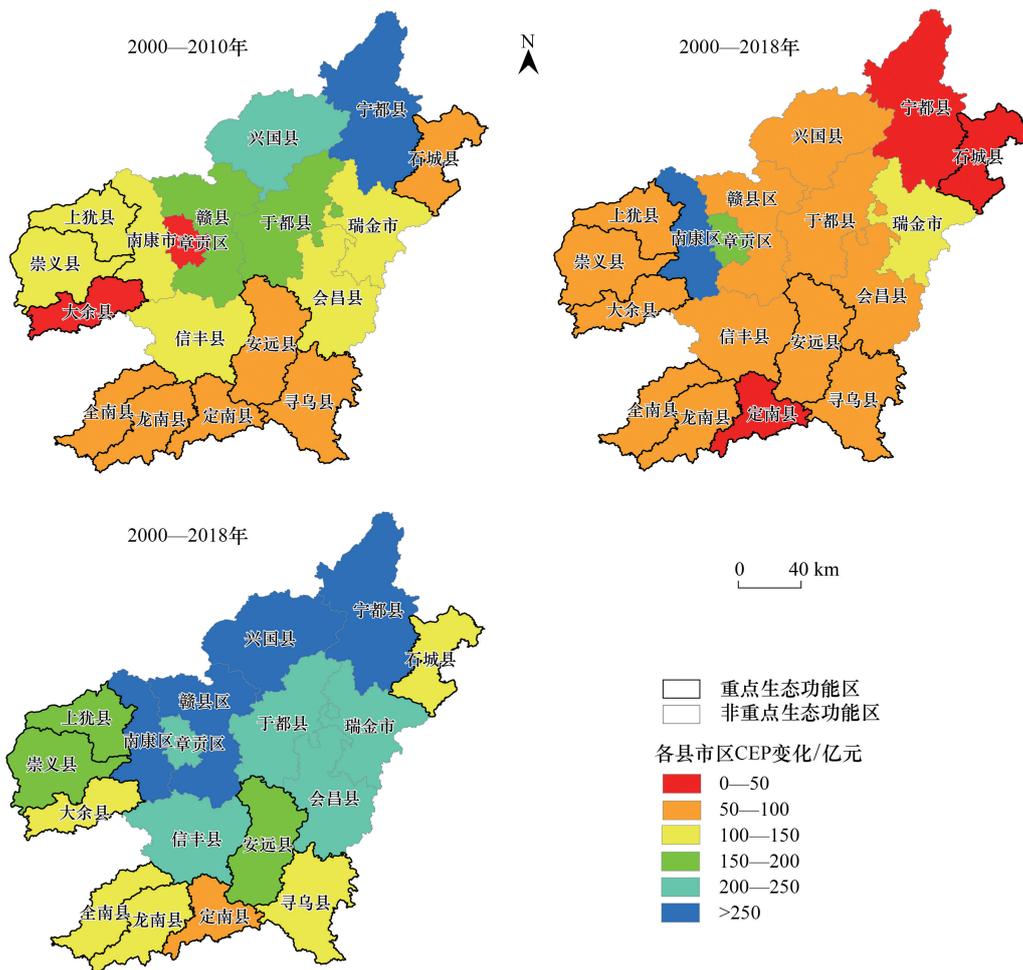


图 2 2000—2018 年赣南地区各县区 GEP 变化图

Fig.2 Change Map of Counties Gross Ecosystem Product in Southern Jiangxi Province (2000—2018)

赣南地区 2018 年单位面积 GEP 为 2783.99 万元/ km^2 ,人均 GEP 为 11.17 万元/人;其中,重点生态功能区县的单位面积 GEP 均值,低于非重点生态功能区县均值和赣南地区均值,而重点生态功能区县的人均 GEP 均值,高于非重点生态功能区县均值和赣南地区均值(表 5)。GEP 作为与 GDP 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状况^[13]。将赣南地区 2018 年各县市区单位面积和人均 GEP 与当年 GDP 进行比较,基本表现出单位面积 GDP 越高的县市区,单位面积 GEP 也相对较高,人均 GDP 越低的县市区,人均 GEP 相对较高。可间接证明赣南地区的经济发展并没有建立在破坏生态环境的基础上,重点生态功能区县人均 GEP 和 GDP 均值比非重点生态功能区县均值高,生态保护成效较为明显。

表 5 2018 年赣南地区各县市区 GEP 和 GDP 的对比

Table 5 Comparison of GEP and GDP of various counties and cities in Southern Jiangxi Province (2018)

| 县市区 Counties | GEP Gross Ecosystem Product/亿元 | GDP Gross Domestic Product/亿元 | 单位面积 GEP Gross Ecosystem Product per unit area/ (万元/km ²) | 人均 GEP Gross Ecosystem Product per capita/万元 | 单位面积 GDP Gross Domestic Product per unit area/ (万元/km ²) | 人均 GDP Gross Domestic Product per capita/万元 |
|--|--------------------------------------|-------------------------------------|---|---|--|--|
| 章贡区 | 377.01 | 451.21 | 7874.45 | 4.90 | 9424.22 | 5.87 |
| 赣县区 | 1061.75 | 187.59 | 3547.34 | 16.12 | 626.73 | 2.85 |
| 信丰县 | 666.11 | 211.86 | 2314.16 | 8.55 | 736.03 | 2.72 |
| 大余县* | 319.16 | 124.55 | 2333.68 | 10.29 | 910.72 | 4.01 |
| 上犹县* | 530.39 | 73.37 | 3435.47 | 16.34 | 475.21 | 2.26 |
| 崇义县* | 589.17 | 91.93 | 2682.13 | 27.19 | 418.52 | 4.24 |
| 安远县* | 471.47 | 74.06 | 1985.30 | 11.59 | 311.85 | 1.82 |
| 龙南县* | 359.19 | 174.62 | 2189.42 | 10.60 | 1064.37 | 5.16 |
| 定南县* | 281.28 | 87.38 | 2136.62 | 12.65 | 663.71 | 3.93 |
| 全南县* | 344.20 | 77.08 | 2263.54 | 17.45 | 506.87 | 3.91 |
| 宁都县 | 1158.83 | 183.56 | 2859.07 | 13.62 | 452.89 | 2.16 |
| 于都县 | 863.04 | 237.36 | 2983.09 | 7.71 | 820.43 | 2.12 |
| 兴国县 | 830.10 | 174.52 | 2582.39 | 9.69 | 542.93 | 2.04 |
| 会昌县 | 710.55 | 114.83 | 2610.23 | 13.37 | 421.83 | 2.16 |
| 寻乌县* | 471.03 | 78.91 | 2037.86 | 14.19 | 341.39 | 2.38 |
| 石城县* | 394.55 | 60.60 | 2494.75 | 11.79 | 383.18 | 1.81 |
| 瑞金市 | 642.08 | 160.08 | 2622.89 | 9.04 | 653.92 | 2.25 |
| 南康区 | 893.45 | 243.73 | 4842.65 | 10.44 | 1321.08 | 2.85 |
| 重点生态功能区县小计 Subtotal key ecological function districts | 3760.45 | 842.49 | 2395.42 | 14.68 | 531.42 | 3.14 |
| 非重点生态功能区县小计 Subtotal non-key ecological function districts | 7202.91 | 1964.75 | 3581.81 | 10.38 | 835.14 | 2.76 |
| 赣南地区 Southern Jiangxi Province | 10963.26 | 2807.24 | 2783.99 | 11.17 | 712.87 | 2.86 |

* 重点生态功能区县

3.4 土地利用转移矩阵及特点

本文通过 GIS 空间叠加分析取得赣南地区 2000—2010 年和 2010—2018 年的土地利用转移矩阵。18 年间,赣南地区各土地利用类型的面积发生了不同程度的增减变化(表 6、表 7)。从 2000—2010 年,赣南地区有林地面积增加 453.35 km²,主要由灌木林、疏林地、草地、耕地转入,主要原因是这期间天然林保护工程建设。这一结果结合表 5 推出,赣南地区气候调节、固碳释氧价值的增大与有林地面积的增大密切相关。城镇用地面积增加了 92.09 km²,主要由耕地和疏林地转入,主要原因是城市化建设。其他林地面积增加了 149.21 km²,主要由有林地、疏林地和灌木林转入,原因是赣南地区大面积的脐橙种植。但耕地面积增加了 140.46 km²,有林地和疏林地转入面积最多,表明 2000—2010 年间,赣南地区为了满足其自身的粮食供给,维持人类生存和经济的发展,耕地面积有所增加,退耕还林政策实施效果并不明显。综上,在 2000—2010 年,赣南地区天然林保护工程建设效果明显,但退耕还林还草政策的实施后续有待加强。

从 2010—2018 年,赣南地区耕地和有林地面积呈现明显减小趋势,分别减少了 212.65 km²、222.34 km²,相应的草地和城镇用地面积呈现明显增加趋势,这一结果与 2010—2018 年赣南地区调节服务价值下降密切相关。主要原因是随着城市化、工业化进程的加快,大量的耕地和有林地转变为城镇用地,生态环境有所破坏。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。今后应该继续加强退耕还林还草、公益林和天然林保护工程的实施,实现生态环境改善而社会经济发展增长的态势。

表 6 赣南地区 2000—2010 年土地转移矩阵/km²
Table 6 Land use conversion matrix of Gangan region (2000—2010)

| 2010 土地利用类型 Land use types in 2010 | 2000 土地利用类型 Land use types in 2000 | | | | | | | | | | 转入面积 Area decrease |
|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|-----------------|----------------|---------------------|----------------------|----------|-----------------------|
| | 有林地 Forestlands | 灌木林 Shrublands | 疏林地 Sparse forestlands | 其他林地 Other Forestlands | 草地 Grasslands | 耕地 Croplands | 湿地 Wetlands | 城镇用地 Urban lands | 未利用土地 Unuse lands | 总计 Total | |
| 有林地 Forestlands | 19960.26 | 195.96 | 777.23 | 22.8 | 51.68 | 70.81 | 2.29 | 0.73 | 0 | 21081.75 | 1121.49 |
| 灌木林 Shrublands | 12.86 | 1329.75 | 4.28 | 0.16 | 1.88 | 6.37 | 0.28 | 0.19 | 0 | 1355.76 | 26.01 |
| 疏林地 Sparse forestlands | 320.83 | 13.18 | 6167.57 | 2.57 | 18.92 | 48.9 | 1.45 | 1.59 | 0.01 | 6575 | 407.43 |
| 其他林地 Other Forestlands | 126.48 | 10.1 | 24.03 | 207.1 | 7.21 | 9.86 | 0.06 | 0.03 | 0.01 | 384.87 | 177.77 |
| 草地 Grasslands | 28.64 | 2.57 | 18.88 | 0.22 | 2100.3 | 17.92 | 0.82 | 0.41 | 0.01 | 2169.76 | 69.46 |
| 耕地 Croplands | 174.53 | 14.41 | 102.7 | 2.71 | 30.38 | 6578.14 | 5.87 | 7.89 | 0.17 | 6946.51 | 368.37 |
| 湿地 Wetlands | 3.23 | 0.38 | 2.32 | 0.05 | 0.95 | 6.06 | 368.6 | 1.05 | 0 | 382.65 | 14.05 |
| 城镇用地 Urban lands | 4.39 | 8.03 | 18.08 | 0.11 | 4.66 | 68.44 | 0.26 | 355.29 | 0 | 459.25 | 103.96 |
| 未利用土地 Unuse lands | 0 | 0 | 0.13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2.14 | 0.14 |
| 总计 Total | 20631.22 | 1574.37 | 7115.21 | 235.7 | 2245.68 | 6806.51 | 379.63 | 367.18 | 2.2 | | |
| 转出面积 Area increase | 670.96 | 244.62 | 947.64 | 28.6 | 145.38 | 228.37 | 11.03 | 11.89 | 0.2 | | |

表 7 赣南地区 2010—2018 年土地转移矩阵/km²
Table 7 Land use conversion matrix of Gangan region (2010—2018)

| 2018 土地利用类型 Land use types in 2018 | 2010 土地利用类型 Land use types in 2010 | | | | | | | | | | 转入面积 Area decrease |
|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|-----------------|----------------|---------------------|----------------------|----------|-----------------------|
| | 有林地 Forestlands | 灌木林 Shrublands | 疏林地 Sparse forestlands | 其他林地 Other Forestlands | 草地 Grasslands | 耕地 Croplands | 湿地 Wetlands | 城镇用地 Urban lands | 未利用土地 Unuse lands | 总计 Total | |
| 有林地 Forestlands | 20453.2 | 35.17 | 109.05 | 16.07 | 38.25 | 199.29 | 6.17 | 2.79 | 0.04 | 20860.03 | 406.83 |
| 灌木林 Shrublands | 69.11 | 1264.22 | 12.35 | 1.16 | 4.84 | 19.83 | 0.59 | 0.51 | 0 | 1372.61 | 108.39 |
| 疏林地 Sparse forestlands | 122.1 | 10.64 | 6189.38 | 2.8 | 28.27 | 140.51 | 4.39 | 3.12 | 0.03 | 6501.24 | 311.86 |
| 其他林地 Other Forestlands | 18.08 | 1.14 | 4.8 | 350.61 | 1 | 3.8 | 0.09 | 0.14 | 0 | 379.66 | 29.05 |
| 草地 Grasslands | 177.63 | 8.05 | 51.07 | 4.61 | 2014.63 | 48.38 | 1.77 | 1.36 | 0 | 2307.51 | 292.88 |
| 耕地 Croplands | 206.8 | 14.79 | 138.6 | 3.76 | 46.31 | 6286.69 | 11.55 | 25.8 | 0.04 | 6734.36 | 447.67 |
| 湿地 Wetlands | 6.91 | 0.74 | 4.78 | 0.22 | 2.23 | 13.97 | 354.06 | 1.32 | 0.02 | 384.24 | 30.18 |
| 城镇用地 Urban lands | 27.89 | 21.02 | 65.63 | 5.61 | 34.29 | 234.41 | 4.03 | 424.22 | 0 | 817.11 | 392.89 |
| 未利用土地 Unuse lands | 0.03 | 0 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.06 | 0 | 0 | 2 | 2.16 | 0.16 |
| 总计 Total | 21081.75 | 1355.77 | 6575.69 | 384.86 | 2169.85 | 6946.93 | 382.66 | 459.25 | 2.14 | | |
| 转出面积 Area increase | 628.55 | 91.55 | 386.31 | 34.25 | 155.22 | 660.24 | 28.6 | 35.03 | 0.14 | | |

4 讨论与结论

4.1 讨论

本研究主要探讨了生态保护成效评估方法,通过 GEP 变化情况来评估生态保护建设工程对生态环境的保护成效。以赣南地区为例,基于 GEP 核算方法,创新性的采用 InVEST 模型中的 Water Yield 模块和 SDR 模块对该区域的水源涵养和土壤保持功能量进行核算,探究其方法、指标和意义。研究结果中 2010 年 GEP 为 9126.12 亿元,高于同时期的研究结果,例如:徐媛银^[37]等利用当量因子法核算得 2010 年生态系统服务价值仅为 2510.63 亿元(为本研究结果的 27.51%)。主要原因是核算方法的不同所导致的,GEP 核算是基于单位服务功能价格的方法,而当量因子法是基于单位面积价值当量因子的方法。GEP 核算所考虑的参数较多,计算过程复杂,适用于区域和小尺度,而当量因子法适用于区域和全球尺度的研究^[38]。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。当量因子法更注重考虑自然生态系统所能提供的价值。

2000、2010 和 2018 年赣南地区绿金指数(GEP/GDP)分别为 5.20、4.19、3.91,呈现出逐年下降的趋势。这说明一方面作为赣江流域和东江流域的源头区,我国生物多样性的重要保护区和重要生态屏障,赣南地区拥有位列江西省第一的森林覆盖率,以及丰富的水系、自然保护区、森林公园、资源重点开发区等区域,这些生态资源的生态服务价值较大;另一方面其社会经济发展相对落后,未充分将丰富生态家底转化为带动全市经济增长的“金山银山”。2000—2018 年,GEP 增幅为 21.75%,而 GDP 增幅为 62.25%,GEP 增幅低于 GDP 的增幅。经过 18 年的社会经济发展,绿金指数的逐年下降,说明在 GEP 提高的前提下,一定程度上能够带动区域经济的发展,逐渐将生态优势转化为经济优势,生态保护成效显著。

2000—2018 年,赣南地区各项生态系统服务中,产品供给、气候调节、固碳、释氧、文化服务价值稳步增长。主要原因是随着退耕还林还草、天然林保护等生态保护修复政策的实施,较多的疏林地和耕地转为有林地,疏林地转入 886.28 km²,耕地转入 270.1 km²,森林质量的提升,造成气候调节和固碳释氧价值增大^[8],保障了生态系统服务价值保持增长态势。但也有一些调节服务功能有所下降,包括水源涵养、土壤保持和洪水调蓄。其中赣南地区水源涵养价值呈现略微下降,减少了 17.51 亿元,土壤保持价值先增大后减小,减少了 0.42 亿元。主要原因是城镇、建设用地扩张不断占用森林、草地和耕地,其中城镇用地增加 450.03 km²,耕地转入 302.85 km²,林地转入 108.23 km²,草地转入 38.95 km²,人类活动影响着生态系统格局及其服务潜力。洪水调蓄价值先急剧上升后下降,2000—2010 年由 870.64 亿元到 1397.02 亿元,2018 年为 964.98 亿元,主要原因是 2010 年暴雨降雨量远高于 2000、2018 年,暴雨降雨量是主要影响因素,导致 2010 年赣南地区洪水调蓄价值最大^[9]。总体来说,生态系统生产总值稳中有升,生态系统表现出改善的趋势。

探究了赣南地区各县市区 GEP 变化情况,通过研究尺度的变化,进一步明晰各县市区生态保护成效。研究发现,赣南地区各县市区 GEP 均为增长态势,生态保护成效较为显著。其中非重点生态功能区县 GEP 增长大于重点生态功能区县。主要原因是非重点生态功能区县中的宁都县、赣县区、兴国县森林覆盖度在 70% 以上,南康区发挥自身特有的民间艺术(南康木根源、南康古文、南康天车制作技艺)、民俗文化和客家文化,文化服务价值增长迅速。同时也说明非国家重点生态功能区实现了保护与发展的双赢,也体现了当地政府对生态保护和建设的重视程度。

2000—2018 年,赣南地区 GEP 稳步增长,调节服务价值占 GEP 的 84.93%(2018 年),调节服务价值和植被覆盖面积的增加密切相关,肯定了赣南地区实施退耕还林还草、天然林保护工程和山水林田湖草系统修复工程对生态系统生产总值的巨大贡献,后续建议进一步通过提升森林质量来增加赣南地区生态系统生产总值。另外,赣南地区的文化服务事关地区的可持续发展和生态文明建设。2000—2018 年,赣南地区文化服务价值显著增大,今后应该继续利用赣江、东江流域源头区和粤港澳大湾区后花园的地理区位优势及当地客家文化特色旅游资源优势,各县市加快推进产业结构调整和产业布局优化,在不以牺牲生态环境的基础上,大力

发展生态旅游和全域旅游,促进文化服务的传承和价值的提升。综合提升研究区生态环境和社会经济发展状况,呈现生态环境保护改善和社会经济发展上升的双赢局面。

本文所计算的文化服务价值用的是统计年鉴各县市旅游总收入数据,实际的文化服务价值应大于研究区旅游总收入(仅考虑了休闲旅游、未考虑景观价值和美学价值等指标)。未来的研究将继续优化生态系统生产总值核算指标体系,并在碳达峰、碳中和的大环境下,试图量化气候变化对 GEP 核算结果的影响。

4.2 结论

本文探讨了以 GEP 为手段的评估生态保护成效的应用方法。通过核算赣南地区 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,分析了影响生态系统服务价值变化的因素,为赣南地区的生态系统管理、生态保护以及生态补偿提供重要依据。本文获取的对赣南地区的生态保护成效主要评估结论为:

(1)赣南地区 2018 年的 GEP 为 10963.26 亿元,是当年 GDP 的约 3.9 倍;GEP 三大服务功能中,调节服务价值最大(84.93%)、文化服务价值次之(10.22%)、产品供给服务价值最小(4.85%);就不同类型生态系统服务而言,气候调节、水源涵养、洪水调蓄是赣南地区生态系统的核心服务功能(75.62%),印证了赣南地区作为鄱阳湖流域和东江流域重要气候调节区和水源涵养区的重要生态地位。

(2)2000—2018 年,赣南地区 GEP 和 GDP 呈现双增长态势,但 GEP 增速(1.21%/a)低于 GDP 的增速(3.46%/a),2000 年、2010 年和 2018 年绿金指数(GEP/GDP)分别为 5.20、4.19、3.91,呈现出逐年下降的趋势。赣南地区生态环境保护推动经济社会高质量发展,生态保护成效较为显著,生态优势逐渐转变为经济优势。

(3)2000—2018 年,赣南地区各县市区 GEP 均为增长(12.00 ± 6.60 亿元/a),其中非重点生态功能区县 GEP 增长量(16.16 亿元/a)大于重点生态功能区县(7.83 亿元/a)。重点生态功能区县的单位面积 GEP 均值,低于非重点生态功能区县均值和赣南地区均值,而重点生态功能区县的人均 GEP 均值,高于非重点生态功能区县均值和赣南地区均值。赣南地区非国家重点生态功能区县实现了保护与发展的双赢,也体现了当地政府对生态保护和建设的重视程度。

参考文献(References):

- [1] Ren G P, Young S S, Wang L, Wang W, Long Y C, Wu R D, Li J S, Zhu J G, Yu D W. Effectiveness of China's national forest protection program and nature reserves. *Conservation Biology*, 2015, 29(5): 1368-1377.
- [2] Delang C O, Yuan Z. China's Grain for Green Program: A Review of the Largest Ecological Restoration and Rural Development Program in the World. Cham: Springer, 2014: 52-59.
- [3] 国家发展和改革委员会. 全国及各地区主体功能区规划: 下. 北京: 人民出版社, 2015: 25-35.
- [4] 张斯屿. 东北天然林保护工程森林生态系统服务功能变化评估(1992—2015)[D]. 长春: 中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所), 2019.
- [5] 侯鹏, 王桥, 申文明, 翟俊, 刘慧明, 杨旻. 生态系统综合评估研究进展: 内涵、框架与挑战. *地理研究*, 2015, 34(10): 1809-1823.
- [6] 陶蕴之, 吕一河, 李凤全, 胡健, 张琨, 李婷, 任艳姣. 西南天然林保护工程区生态成效评估. *生态与农村环境学报*, 2016, 32(5): 716-723.
- [7] 余新晓, 谷建才, 岳永杰, 张振明. 林业生态工程效益评价. 北京: 科学出版社, 2010: 10-31.
- [8] 李世东. 中国生态状况报告 2005: 生态综合指数与生态状况基本判断. 北京: 科学出版社, 2006: 125-142.
- [9] 邹梓颖, 肖燧, 欧阳志云, 宋昌素, 王克林. 黔东南苗族侗族自治州生态保护成效评估. *生态学报*, 2019, 39(4): 1407-1415.
- [10] OECD. System of environmental economic accounting 2012: experimental ecosystems accounting. [2018-06-01]. <https://www.oecd.org/env/system-of-environmental-economic-accounting-2012-9789210562850-en.htm>.
- [11] 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.
- [12] 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, 29(11): 6183-6188.
- [13] 欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 徐卫华, 郑华, 张琰, 肖燧. 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.
- [14] 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.
- [15] 孙永明, 叶川, 王学雄, 黄欠如, 夏雨, 成艳红, 钟义军. 赣南脐橙果园水土流失现状调查分析. 水土保持研究, 2014, 21(2): 67-71.
- [16] 包玉斌, 李婷, 柳辉, 马涛, 王怀香, 刘康, 沈茜, 刘心浩. 基于 InVEST 模型的陕北黄土高原水源涵养功能时空变化. 地理研究, 2016, 35(4): 664-676.
- [17] 张海林, 杨秀锋, 易军, 刘晓利, 刘秀芸, 刘目兴, 陶凯, 李胜龙. 亚热带红壤区不同土地利用方式下的土壤剖面水流特征. 水土保持学报, 2019, 33(6): 233-241.
- [18] 刘目兴, 吴丹, 吴四平, 廖丽娟. 三峡库区森林土壤大孔隙特征及对饱和导水率的影响. 生态学报, 2016, 36(11): 3189-3196.
- [19] 阮芯竹, 程金花, 张洪江, 杜士才, 李世友, 张福明, 王贤, 陈晓冰. 重庆市四面山不同土地利用类型饱和导水率. 水土保持通报, 2015, 35(1): 79-84.
- [20] 袁晓良, 李俊雅, 葛乐, 李潜, 刘毅. 不同土地利用方式对土壤团聚体稳定性及其导水率的影响. 水土保持研究, 2020, 27(4): 67-71, 77-77.
- [21] 国家林业和草原局. GB/T 38582—2020 森林生态系统服务功能评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [22] 饶恩明, 肖焱, 欧阳志云, 郑华. 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素. 生态学报, 2013, 33(3): 746-755.
- [23] 陈童尧, 贾燕锋, 王佳楠, 张宇, 李萍, 刘楚颖. 基于 InVEST 模型的祁连山国家级自然保护区土壤保持现状与功能. 干旱区研究, 2020, 37(1): 150-159.
- [24] 魏小燕, 毕华兴, 霍云梅, 肖聪颖, 杨晓琪. 高羊茅草地地表径流系数影响因素研究. 北京林业大学学报, 2017, 39(5): 82-88.
- [25] 冯强, 赵文武. USLE/RUSLE 中植被覆盖与管理因子研究进展. 生态学报, 2014, 34(16): 4461-4472.
- [26] 于东升, 史学正, 吕喜玺. 低丘红壤区不同土地利用方式的 C 值及可持续性评价. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, (1): 72-77.
- [27] 白玛卓嘎, 肖焱, 欧阳志云, 王莉雁. 甘孜藏族自治州生态系统生产总值核算研究. 生态学报, 2017, 37(19): 6302-6312.
- [28] 龚诗涵, 肖洋, 方瑜, 郑华, 肖焱, 欧阳志云. 中国森林生态系统地表径流调节特征. 生态学报, 2016, 36(22): 7472-7478.
- [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] 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.
- [31] 江西省发展和改革委员会, 江西省财政厅, 江西省环境保护厅. 排污费征收标准及计算方法. 2015. <http://www.nc.gov.cn/ncszf/pwjy1/201709/ce817fbfa41a48da89f8d1c84fd5bd4c.shtml>
- [32] 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.
- [33] 任国玉, 郭军. 中国水面蒸发量的变化. 自然资源学报, 2006, 21(1): 31-44.
- [34] 王莉雁, 肖焱, 欧阳志云, 韦勤, 博文静, 张健, 任苓. 国家级重点生态功能区县生态系统生产总值核算研究——以阿尔山市为例. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(3): 146-154.
- [35] 陈迪. 基于遥感技术的甘南州陆地生态系统 NEP 研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [36] Pei Z Y, Ouyang H, Zhou C P, Xu X L. Carbon balance in an alpine steppe in the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2009, 51(5): 521-526.
- [37] 徐媛银, 郭冻, 薛达元, 孙思琦. 赣南地区土地利用格局及生态系统服务价值的时空演变. 生态学报, 2019, 39(6): 1969-1978.
- [38] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.