

基于 GEP 核算的北京市山区森林经营实施效果评价

盘黄颖¹, 孟京辉^{2*}, 温志勇³

(1. 北京林业大学 林学院, 北京 100083; 2. 北京林业大学 国家林业和草原局森林经营工程技术研究中心, 北京 100083;
3. 北京市怀柔区园林绿化局, 北京 101401)

摘要:以北京市为研究区构建 GEP 核算体系,通过市场价值法、替代成本法等价值评估方法核算 2000、2010 年和 2018 年生态系统生产总值,分析探讨北京市生态系统服务价值的动态变化特征,明确森林经营技术优化对生态系统服务功能的提升效果,为优化森林生态系统经营技术提供重要科学依据。结果表明:1)2018 年,北京市 GEP 三大服务中,调解服务价值量最大,文化服务价值量次之,供给服务价值量最小。2)2000、2010、2018 年的 GEP 分别为 2 572.45、3 961.02、5 603.04 亿元,GEP 和 GDP 呈现双增长态势,对应的绿金指数(GEP/GDP)分别为 0.80、0.27、0.18,呈逐年下降的趋势。3)按可比价计算,2000—2018 年 GEP 增幅 40.53%,其中 2000—2010、2010—2018 年增幅分别为 18.89%、18.20%,GEP 增幅有所减缓,但森林经营提升生态效果总体呈现向好趋势;供给服务价值幅度为 40.46%,调解服务价值增幅为 10.63%,文化服务价值增幅 525.91%。研究利用 GEP 核算结果反映山区森林经营技术优化效果,进一步推动北京市山区森林生态文明建设。

关键词:GEP 核算;生态系统服务功能;森林经营;经营效果;北京市

中图分类号:S750 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2024)01-0256-08

Evaluation on the Implementation Effect of Forest Management in Beijing Mountainous Areas Based on GEP Accounting

PAN Huang-ying¹, MENG Jing-hui^{2*}, WEN Zhi-yong³

(1. College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Research Center of Forest Management Engineering of National Forestry and Grassland Administration, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
3. Huairou District Bureau of Forestry and Parks of Beijing Municipality, Beijing 101401, China)

Abstract: The objective of this study was to construct the accounting system of gross ecosystem production (GEP) by using Beijing as the study area. The market value method, alternative cost method, and other value assessment methods were adopted to calculate the GEP values of Beijing in 2000, 2010 and 2018, from which the characteristics of dynamic changes of ecosystem service value were discussed. The effect of forest management technology optimization on the enhancement of ecosystem service functions was clarified, so as to provide an important scientific basis for optimizing forest ecosystem management technology. The results showed that 1) among the three GEP services in 2018, the value of regulation service was the largest, followed by culture and supply services. 2) The values of GEP of Beijing in 2000, 2010 and 2018 were 2 572.45, 3 961.02 and 5 603.04 billion yuan, respectively. Both GEP and GDP showed growth trend, and the corresponding values of green gold index(GEP/GDP) were 0.80, 0.27 and 0.18 respectively, showing a downward trend year by year. 3) According to the comparable price, the growth of GEP from 2000 to 2018

收稿日期:2023-03-28 修回日期:2023-05-23

基金项目:2022 年生态公益林经营管护支撑-生态公益林效益评估项目(2022-STBHXC-04-19)。

第一作者:盘黄颖。研究方向:森林经理。E-mail:2449365964@qq.com

* 通信作者:孟京辉,博士,教授,博士生导师。研究方向:森林经营与管理。E-mail:Jmeng@bjfu.edu.cn

was 40.53%, including 18.89% from 2000 to 2010 and 18.20% from 2010 to 2018. The growth of GEP slowed down, but the ecological improvement effect of forest management displayed growing trend. The values of supply, regulation and culture services increased by 40.46%, 10.63%, and 525.91%, respectively. The study utilized GEP accounting results to reflect the optimization effect of forest management technology in mountainous areas, so as to further promote the construction of forest ecological civilization in mountainous areas of Beijing.

Key words: GEP accounting; ecosystem service function; forest management; management effect; Beijing

森林经营技术是指导经营单位提高经营水平的依据,合理有效的经营技术不仅能发挥林地生产力,还能促进森林生态、经济和社会效益的有机结合^[1]。北京市山区森林由于历史原因森林主体结构单一、森林质量较差,为使山区森林最大限度发挥其效益,近 20 a 来山区森林经历了由解决数量问题向解决质量问题的转变,经营理论和技术也经历了三大创新进步。21 世纪初期,北京开始近自然森林经营探索,旨将结构不合理的森林转变为接近自然状态的森林^[2];随着理论技术的发展进步,2010 年,经营技术转变为突出森林服务功能和整体健康稳定的健康经营技术^[3];2017 年以来,北京市开始实施精准提升森林质量、强化森林生态环境服务功能的协力经营技术。随着国家发展战略的调整,以木材生产为主的经营重点逐步转变为以生态建设为主。系统认识山区森林生态系统服务协同关系,科学衡量经营效果对正确认识森林的多功能效益,全面实践和优化森林经营技术措施具有非常重要的意义。

2012 年,我国学者提出生态系统生产总值(GEP)的概念,即生态系统在一定区域和一定时间内为人类福利和社会经济可持续发展提供的最终产物与服务的价值总和^[4-5]。近几年多地开展的 GEP 理论研究和试点将生态系统服务价值货币化,为政策管理者掌握生态价值变化,实现区域可持续发展,促进生态服务价值实现提供了重要支撑^[6-9]。2022 年初,国家发改委和国家统计局联合出台《生态产品总值核算规范(试行)》,规范定义了物质供给、调节服务、文化服务等相关概念,初步确定生态产品功能量和价值量的核算方法,为产品价值实现和总值核算提供依据^[10]。

山区森林是北京生态基底,开展山区森林经营工作有利于增强森林生态系统服务功能。从 GEP 角度分析经营干预对区域生态系统的影响,评估生态系统服务价值以评估森林经营技术实施效果,给绿水青山“明码标价”,助力北京市山区森林经营。基于此,以北京市生态系统为研究对象,核算其 2000、2010 年和 2018 年的 GEP,分析探讨生态系统服务价值的动态变化特征以评价山区森林经营效果,为优化森林经

营技术提供重要科学依据,进一步推动北京山区森林生态文明建设进入新发展阶段。

1 研究区概况

北京市地处华北平原的西北部(115°25′—117°30′E、39°25′—41°51′N),地势西北高、东南低,平均海拔 43.5 m,山区海拔 1 000~1 500 m,平原海拔 20~60 m,山区面积约占辖区面积的 62%,平原面积约占 38%^[11]。北京属于暖温带大陆性季风气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,年平均降水量约为 483.9 mm,是华北地区降雨最多的地区之一^[12]。年降水季节分配极不均匀,7、8 月的降水量占全年总量的 65%~70%,冬春降水最少,春旱严重^[13]。根据土地利用和植被覆盖情况(图 1),研究区用地划分为森林、农田、灌木、草地、水体、裸地和人造地表 7 个类型,其中森林面积最大,森林覆盖率约为 43.8%。

2 研究方法

2.1 数据来源

土地利用数据采用 2000、2010 年和 2018 年 PIE 平台中国 30 m 年度土地覆盖产品(<https://engine.piesat.cn/>);数字高程模型 DEM 来源于地理空间数据云,空间分辨率为 30 m^[14];降水温度数据由中国气象数据网下载;土壤 N、P 含量数据由中国土壤有机质数据集提供;土壤砂砾、黏粒、粉粒数据来源于 HWSO 数据集,空间分辨率为 1 km;植被数据来源于 NASA 提供的 MODIS 产品^[15];产品产量和单价等核算数据由北京市 2000、2010 年和 2018 年 3 a 的统计年鉴提供。

2.2 核算指标体系及方法

根据北京市生态过程的特点及其本底特征,以生态系统服务功能价值理论和方法为基础,参考北京市地方标准《生态产品总值核算技术规范》(以下简称《规范》)^[16],建立包括生态系统供给服务、调解服务和文化服务 3 大类 14 项功能指标的北京市 GEP 核算体系;考虑各类生态系统产品服务功能及单价缺失情况,结合物价标准利用价格指数折算各项服务指标价格。

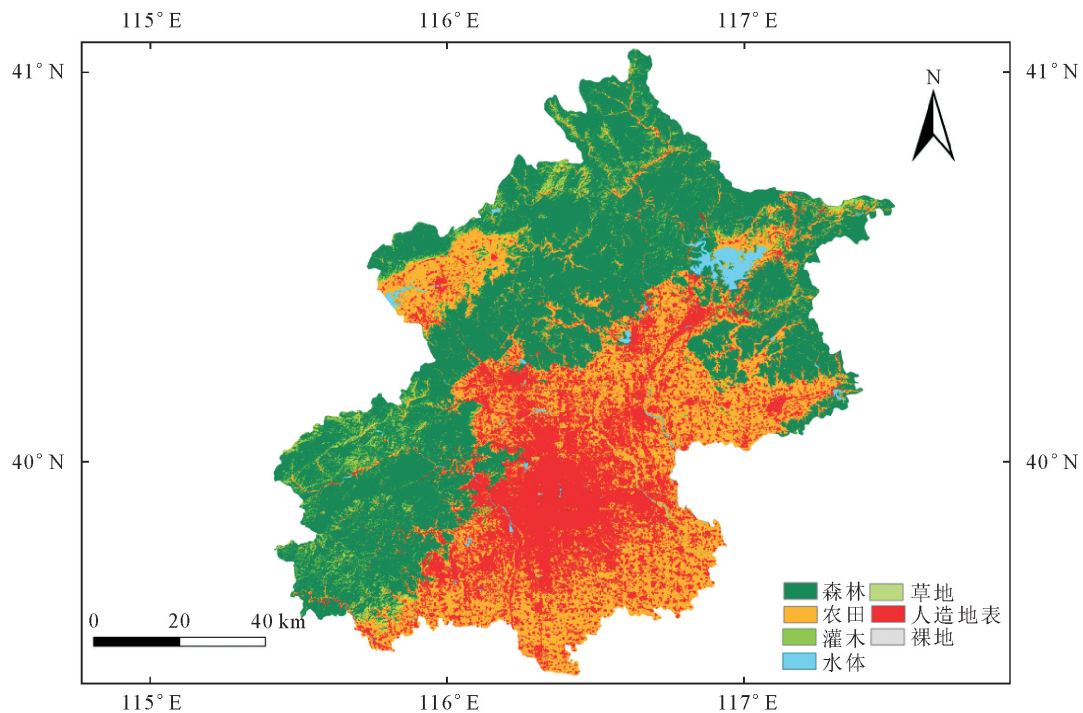


图1 2018年北京市土地利用类型分布

Fig. 1 The distribution of land use types of Beijing in 2018

表1 北京市 GEP 核算体系与方法

Table 1 GEP accounting system and methods in Beijing

服务类型	核算指标	评估方法
供给服务	农业产品	市场价值法
	林业产品	
	畜牧业产品	
	渔业产品	
	生态能源	
	其他	
调解服务	水源涵养	影子工程法
	土壤保持	替代成本法和机会成本法
	洪水调蓄	影子工程法
	空气净化	替代成本法
	水质净化	替代成本法
	固碳释氧	替代成本法
	气候调节	替代成本法
	休闲游憩	旅行费用法
文化服务	休闲游憩	旅行费用法

2.3 生态系统供给服务价值

北京市生态系统供给服务价值指北京市生态系统为人类直接提供产品的价值。本研究利用产品产量预估生态系统农业(谷类、豆类、经济作物、水果、蔬菜及食用菌)、林业(林木产品)、畜牧业(动物饲养生产的肉类、禽蛋类产品)、渔业(水产养殖)、生态能源(水能发电)以及其他6类产品的物质量,采用市场价值法核算价值量,计算公式如下。

$$V_m = \sum_{i=1}^n (Y_i \times P_i) \quad (1)$$

式中: V_m 为各指标供给产品价值(元); Y_i 为第 i 类

(i = 农、林、畜牧、渔、生态能源、其他)产品的产量(kg); P_i 为第 i 类产品的单价(元 \cdot kg $^{-1}$)^[17]; 在生态能源产品中 P_i 为电价, 2000、2010 年和 2018 年分别为 0.351、0.440、0.488 元 \cdot kw $^{-1} \cdot$ h $^{-1}$ 。

2.4 生态系统调解服务价值

2.4.1 水源涵养价值 从水量平衡角度出发, 利用水量平衡方程计算北京市生态系统中森林、灌木、农田、草地的水源涵养量^[18], 采用影子工程法核算其价值量。

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

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

式中: Q_{wr} 为各生态系统水源涵养总量(m 3); P_i 为降雨量(mm); R_i 为地表径流量(mm)^[19]; E_{Ti} 为蒸散量(mm); A_i 为第 i 类生态系统面积(km 2); v_{wr} 为水源涵养总价值(元); C 为水利工程单位造价, 2000、2010 年和 2018 年分别取 5.06、7.59、10.23 元 \cdot m $^{-3}$ ^[20]。

2.4.2 土壤保持价值 利用修正后的土壤流失方程计算的潜在土壤侵蚀量与实际土壤侵蚀量之差为北京市生态系统的土壤保持量^[21-23], 采用替代成本法从减少泥沙淤积和减少面源削减 2 个方面核算土壤保持价值量, 计算公式如下。

$$A_c = S_{RP} - S_{RA} \quad (4)$$

$$S_{RP} = R \times K \times L \times S \quad (5)$$

$$S_{RA} = R \times K \times L \times S \times P \times C \quad (6)$$

$$V_{SD} = \lambda \times \frac{A_c}{\rho} \times P_{RD} \quad (7)$$

$$V_{SR} = \sum_{i=1}^2 A_i \times C_i \times P_i \quad (8)$$

式中: A_c 为各生态系统土壤保持量(t); S_{RP} 为潜在土壤侵蚀量; S_{RA} 为实际土壤侵蚀量; V_{SD} 为减少泥沙淤积费用(元 · a⁻¹); V_{SR} 为减少面源污染费用(元 · a⁻¹); R 为降雨侵蚀力因子; K 为土壤可蚀性因子; L 、 S 为坡长、坡度因子(无量纲); P 为水土保持因子(无量纲); C 为植被覆盖因子(无量纲)^[24]; λ 为泥沙淤积系数, 取 24%^[25]; ρ 为土壤容重(t · m⁻³); P_{RD} 为清淤费用^[26], 2000、2010 年和 2018 年分别取 10.39、15.58、21 元 · m⁻³; C_i 为土壤中 N、P 的纯含量(%); P_i 为污染治理成本单价(元 · t⁻¹)^[27], 2000 年减少 N、P 面源污染成本分别为 583.33、1 866.67 元 · t⁻¹, 2010 年减少 N、P 面源污染成本分别为 875、2 800 元 · t⁻¹, 2018 年减少 N、P 面源污染成本分别为 1 179.4、3 774.07 元 · t⁻¹。

2.4.3 洪水调蓄价值 由于数据获取限制, 按照《规范》选用湖泊和水库生态系统蓄积的水流量评估洪水调蓄功能量^[28], 采用影子工程法核算洪水调蓄价值量, 计算公式如下。

$$C_{fm} = C_{cl} + C_f \quad (9)$$

$$C_{cl} = e^{6.636} \times A^{0.678} \quad (10)$$

$$C_f = 0.35 \times C_t \quad (11)$$

$$V_{fm} = C_{fm} \times C \quad (12)$$

式中: C_{fm} 为各生态系统洪水调蓄总量(m³); C_{cl} 为湖泊洪水调蓄总量(m³); C_f 为防洪库容(m³); A 为湖泊总面积(m²)^[29]; C_t 为总库容(m³); V_{fm} 为洪水调蓄价值(元)。

2.4.4 空气净化价值 利用生态系统对空气中 SO₂、氮氧化物和工业粉尘 3 种污染物的吸收量来评价空气净化能力^[30], 用替代成本法将空气污染治理成本估计为空气净化的价值量, 计算公式如下。

$$Q_{ap} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{ij} \times A_i \quad (13)$$

$$V_{ap} = \sum_{i=1}^n Q_{ap} \times C_i \quad (14)$$

式中: Q_{ap} 为各生态系统 3 种空气污染物净化总量(t); Q_{ij} 为生态系统每年各吸收 SO₂、氮氧化物及工业粉尘量(t · km⁻² · a⁻¹)^[31-32]; A_i 为第 i 类生态系统面积(km²); V_{ap} 为空气净化总价值(t · a⁻¹); C_i 为 i 类空气污染物(SO₂、氮氧化物、工业粉尘)的治理成本(元 · t⁻¹), 2000 年和 2010 年各类污染物成本分别为 1 200、630、150 元 · t⁻¹; 2018 年分别为 2 400、1 260、300 元 · t⁻¹^[23]。

2.4.5 水质净化价值 水体污染物主要包括化学需氧量(COD)、总氮(TN)和总磷(TP)3 项指标。通过计算湿地、湖泊和河流生态系统对水体污染物净化量以评估水质净化能力, 采用替代成本法核算其价值量, 计算公式如下。

$$Q_{wp} = \sum_{i=1}^n Q_i \times A \quad (15)$$

$$V_{wp} = \sum_{i=1}^n Q_i \times C_i \quad (16)$$

式中: Q_{wp} 为生态系统水质净化功能量(t); Q_i 为单位面积化学需氧量、总 N、总 P 水质污染物净化量(t · km⁻² · a⁻¹)^[33-34]; V_{wp} 为水质净化总价值(t); C_i 为 i 类水体污染物(COD、总氮、总磷)的治理成本(元 · t⁻¹), 其中 2000 年各类污染物治理成本分别为 466.67、583.33、1 866.67 元 · t⁻¹, 2010 年治理成本分别为 700、875、2 800 元 · t⁻¹, 2018 年治理成本分别为 943.48、1 179.4、3 774.07 元 · t⁻¹^[24]。

2.4.6 固碳释氧价值 选用绿色植物的固碳量和释氧量评估生态系统固碳释氧功能, 采用替代成本法利用碳固定成本和释放氧气成本核算生态系统固碳释氧价值量, 计算公式如下。

$$N_{EP} = N_{PP} - R_s \quad (17)$$

$$R_s = 0.22 \times (e^{0.0913T} + \ln(0.03415 \times P + 1)) \times 30 \times 46.5\% \quad (18)$$

$$Q_c = N_{EP} \times 3.67 \times P_c \quad (19)$$

$$Q_o = N_{EP} \times 3.67 \times P_o \quad (20)$$

式中: N_{EP} 为净生态系统生产力, 即固碳总量(t); N_{PP} 为生态系统净初级生产力(t)^[20]; R_s 为土壤呼吸消耗的碳量(t), 其中 T 为月均温; P 为月均降雨量(mm); Q_c 为生态系统固碳价值(元); Q_o 为生态系统释氧价值(元); P_c 为 CO₂ 固定成本(元 · t⁻¹), 2000、2010 年和 2018 年分别为 253.33、380、512.17 元 · t⁻¹; P_o 为释放 O₂ 成本(元 · t⁻¹), 2000、2010 年和 2018 年分别为 487.67、727、979.87 元 · t⁻¹。

2.4.7 气候调节价值 利用生态系统植被蒸腾量和水面蒸发量作为气候调节的功能量, 采用替代工程法核算生态系统气候调节价值量, 计算公式如下。

$$Q_{tt} = Q_{pt} + Q_{we} \quad (21)$$

$$Q_{pt} = \sum_{i=1}^n E_{ppi} \times A_i \times D \times \frac{10^6}{3\,600/r} \quad (22)$$

$$Q_{we} = E_w \times Q \times \rho \times \frac{10^3}{3\,600} \quad (23)$$

$$V_{tt} = Q_{tt} \times P_e \quad (24)$$

式中: Q_{tt} 为生态系统蒸腾蒸发消耗的总能量(kW · h · a⁻¹)^[35]; Q_{pt} 为植被蒸腾消耗的能量; Q_{we} 为水面蒸发消耗的能量; E_{ppi} 为 i 类生态系统单位

面积蒸腾消耗的热量($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); A_i 为 i 类生态系统面积(km^2); D 为空调开放天数, 取 120 d; r 为空调能效比, 取 3; E_w 为水面蒸发的水量($\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$); ρ 为水的密度, 即 $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; Q 为挥发潜热($\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$); P_e 为电价。

2.5 生态系统文化服务价值

作为生态系统服务的重要组成部分, 生态系统文化服务在提升人类福祉方面发挥了无可替代的重要作用^[35]。在《规范》中, 文化服务主要包含旅游康养、休闲游憩、景观增值等, 本研究选择休闲游憩这一指标, 利用人们在休闲游憩中的消费意愿估算生

态旅游价值, 按照生态旅游价值占旅游总收入比例的 24.6%, 运用旅行费用法核算北京市生态休闲游憩的文化服务价值。

3 结果与分析

3.1 生态系统生产总值

北京市 2000、2010、2018 年的 GEP 分别为 2 572.45、3 961.02、5 603.04 亿元(表 2), GDP 分别为 3 212.8、14 441.6、30 320 亿元。2018 年, GEP 三大服务中, 调解服务价值量最大, 为 3 921.22 亿元; 文化服务价值量次之, 为 1 366.83 亿元; 供给服务价

表 2 2000—2018 年北京市生态系统服务功能量及价值量

Table 2 The function and value of ecosystem services in Beijing from 2000 to 2018

服务类型	服务指标	产品	功能量			价值量(当年价)/亿元		
			2000 年	2010 年	2018 年	2000 年	2010 年	2018 年
供给服务	农业产品	谷物	—	—	—	7.06	21.21	6.44
		豆类	—	—	—	0.58	0.58	0.33
		经济作物	—	—	—	1.07	0.97	0.33
		蔬菜及食用菌	—	—	—	31.28	61.59	52.38
		水果(含瓜果类)	—	—	—	11.47	41.66	42.37
		其他	—	—	—	2.89	28.20	12.90
	林业产品	林木产品	—	—	—	2.22	16.81	95.13
	畜牧业产品	牲畜饲养	—	—	—	6.38	35.57	22.79
		猪肉	—	—	—	16.62	43.65	27.96
		家禽饲养	—	—	—	15.57	49.35	18.74
		禽蛋	—	—	—	11.71	16.42	13.44
		其他	—	—	—	0.08	11.01	2.49
	渔业产品	水产品	—	—	—	5.70	11.51	6.15
	生态能源	水能发电	—	—	—	3.19	1.55	4.79
	其他	其他类	—	—	—	—	5.90	8.77
	小计					115.82	345.99	315.00
调解服务	水源涵养	水源涵养量(亿 t)	63.30	72.20	91.80	320.30	548.00	939.11
		土壤保持						
	土壤保持	土壤保持量(万 t)	481.78	507.69	593.31	0.50	0.79	1.25
		减少 N 面源污染(万 t)	309.44	326.09	382.08	18.05	28.53	45.06
		减少 P 面源污染(万 t)	106.81	112.56	131.54	19.94	31.52	49.64
	洪水调蓄	湖泊调蓄量(万 m^3)	4.28	3.36	4.04	0.002 1	0.002 5	0.004 1
		水库调蓄量(亿 m^3)	32.86	32.86	32.86	166.27	249.41	336.16
	空气净化	净化 SO_2 (万 t)	31.32	30.75	30.54	3.76	3.69	7.33
		净化氮氧化物(万 t)	1.14	1.12	1.11	0.07	0.07	0.14
		净化工业粉尘(万 t)	5 348.87	5 272.52	5 235.24	80.23	79.09	157.06
	水质净化	净化 COD(万 t)	4.20	2.95	3.87	0.20	0.21	0.36
		净化总氮(万 t)	0.33	0.23	0.30	0.02	0.02	0.04
		净化总磷(万 t)	0.33	0.23	0.30	0.06	0.06	0.11
	固碳释氧	固碳(亿 t)	0.19	0.26	0.33	47.30	97.38	167.39
		释氧(亿 t)	0.06	0.08	0.11	29.77	60.92	104.71
	气候调节	植被蒸腾降温增湿(亿 $\text{kw} \cdot \text{h}$)	4 418.25	4 360.54	4 326.52	1 550.81	1 918.64	2 112.64
		水面蒸发降温增湿(亿 $\text{kw} \cdot \text{h}$)	2.77	0.30	0.44	0.97	0.13	0.21
	小计					2 238.25	3 018.45	3 921.22
文化服务	休闲游憩	生态旅游收入	—	—	—	218.37	596.57	1 366.83
总计						2 572.45	3 961.02	5 603.04

注:“—”表示数据缺失。下同。

值量最小,为 315 亿元。GEP 和 GDP 呈现双增长态势,但 GEP 涨幅远落后于 GDP 涨幅,对应的绿金指数(GEP/GDP)分别为 0.80、0.27、0.18。北京市作为中国第二大经济城市,经济的飞速发展使得经济与生态之间的差距愈发明显,“金山银山”价值远大于“绿水青山”。但 GEP 逐年稳定增长表明北京市生态价值转换为经济价值的潜力逐渐增大,森林经营技术的优化不仅促进林木生长,提高森林资源的综合质量,维持森林生态系统的健康和活力,还满足了社会经济发展中人们对森林产品及其生态服务功能的需求。

3.2 生态系统生产总值的变化特征

由表 3 可知,2000—2018 年,剔除物价因素(以 2018 年为基年),北京市生态系统生产总值表现为先快后慢的正增长趋势。2000—2018 年,北京市 GEP 增幅 40.53%,实际增长 1 616.10 亿元;2000—2010 年,GEP 由 3 986.94 亿元增长到 2010 年的 4 740.15 亿元,实际增长 753.22 亿元,增幅为 18.89%;2010—2018 年,GEP 由 4 740.15 亿元增长到 2018 年的 5 603.04 亿元,实际增长 862.89 亿元,增幅为 18.20%。

从 2000—2010、2010—2018 年 2 个区间看,北京市供给服务价值量增长率呈现先正增长后负增长的趋势,变化幅度较大。北京市是世界上人口密度最大的城市之一,为迎合快速增长的人口,2000—2010 年期间大力发展第一产业,生态供给价值量增幅高达 113.28%,由 115.82 亿元增加到 345.99 亿元,实际增加 253.86 亿元;供给价值量在 2010—2018 年实现 34.10%的负增长,价值量实际减少

162.97 亿元,其中林业产品在森林健康和质量精准提升经营技术以及北京市新一轮百万亩造林工程拉动下实现价值量增长 230.63%,而由于传统农业缩减以及农业内部结构调整,2010 年以来小麦等作物以及动物肉类、禽蛋类产品产量下降,农业产品、畜牧业产品以及渔业产品价值量下降明显。虽然价值量呈现先增加后减少的变化趋势,但总体而言,北京市生态产品供给能力逐步增强,供给产品充分保障了居民对物质增长的需求。

调解服务价值量呈现稳定正增长趋势,2000—2010、2010—2018 年增长率分别为 3.42%、6.97%,实际变化价值量为 121.15、255.61 亿元,虽然调解服务价值量增幅较小,但其基础价值量较大。水源涵养、土壤保持和固碳释氧等生态服务价值均表现为稳定增长的趋势;洪水调蓄和水质净化价值表现为先负增长后正增长的变化趋势;空气净化和气候调节价值虽表现为负增长趋势,但变幅逐渐减小。2010—2018 年调解服务指标价值量均有不同程度的增加,体现出山区森林经营优化了森林物种组成及林分结构,提升了北京市核心生态功能,实现了山区森林生态修复。总体而言,调解服务价值量变化反映出北京市在优化森林经营技术后山区森林质量显著提高,生态系统服务功能不断增强,保障了山区森林生态效益的实现。

文化服务价值量呈先快后慢的正增长趋势,总体增长率较高。2000—2010、2010—2018 年增长率分别为 173.19%、129.11%,增幅超过 100%;2000—2018 年,价值量从 218.37 亿元增加到 1 366.83 亿元,实际增加 1 148.45 亿元,增幅 525.91%,可见

表 3 2000 年—2018 年北京市生态系统生产总值变化

Table 3 Changes of GEP in Beijing from 2000 to 2018

服务类型	服务指标	价值量(可比价)/亿元			变化量/亿元			变幅(%)		
		2000 年	2010 年	2018 年	2000—2010 年	2010—2018 年	2000—2018 年	2000—2010 年	2010—2018 年	2000—2018 年
供给服务	农业产品	117.00	229.43	114.75	112.44	-114.68	-2.25	96.10	-49.99	-1.92
	林业产品	5.12	28.77	95.13	23.65	66.36	90.00	461.53	230.63	1 756.57
	畜牧业产品	84.65	194.16	85.41	109.51	-108.74	0.77	129.37	-56.01	0.91
	渔业产品	14.14	15.52	6.15	1.37	-9.37	-8.00	9.70	-60.37	-56.52
	生态能源	3.19	1.55	4.79	-1.65	3.24	1.59	-51.58	209.39	49.82
	其他	—	8.54	8.77	—	0.23	—	—	2.66	—
调解服务	水源涵养	647.56	738.61	939.11	91.05	200.51	291.56	14.06	27.15	45.02
	土壤保持	77.82	82.00	95.95	4.19	13.95	18.13	5.38	17.01	23.30
	洪水调蓄	336.16	336.16	336.16	-0.000 9	0.000 7	-0.000 2	-0.000 3	0.000 2	-0.000 1
	空气净化	168.13	165.70	164.53	-2.43	-1.17	-3.60	-1.45	-0.71	-2.14
	水质净化	0.56	0.39	0.51	-0.17	0.12	-0.04	-29.79	31.24	-7.86
	固碳释氧	155.45	213.36	272.10	57.91	58.74	116.65	37.25	27.53	37.79
文化服务	气候调节	2 158.78	2 129.40	2 112.85	-29.39	-16.54	-45.93	-1.36	-0.78	-2.13
	休闲游憩	218.37	596.57	1 366.83	378.20	770.25	1 148.45	173.19	129.11	525.91
合计		3 986.94	4 740.15	5 603.04	753.22	862.89	1 616.10	18.89	18.20	40.53

在这期间,休闲游憩对北京市经济增长的贡献率越来越大。北京市政府部门能够结合当地历史文化、人文资源发展旅游事业,将可持续发展理念深入旅游产业发展过程,使北京逐渐实现由“绿水青山”向“金山银山”发展。

2000—2018年,调解服务由于其主导地位使北京市生态系统生产总值增长率较稳定,GEP的逐年增大以及各服务指标价值不同程度的增加验证了山区森林经营技术优化实施提高了林地综合质量,

生态环境服务功能得到进一步强化,经营效果明显,使北京森林“绿起来”的同时也收获了较好的生态效益,综合效益逐步显现。

4 讨论

科学可行的森林经营方案及效益评价方法是我国林业健康、可持续发展的重要手段^[36]。目前以生态系统生产总值评估森林经营技术实施效果的研究较少,本研究用GEP核算的方法对森林经营技术实施效果进行评估,用经济价值反映经营技术实施产生的生态效益,通过科学评价经营效果不断优化森林经营技术,为推进北京山区森林生态文明建设、促进可持续发展提供支撑^[14]。

北京市是我国经济核心地区,2000—2018年GEP较GDP低,体现出价值转化率低,未能将生态价值充分转化为经济效益。GDP反映经济发展实力,GEP反映生态文明水平,北京市需分析其生态系统优劣势,进一步优化生态系统产品和服务价值结构,实施产业转型升级,促进GEP向GDP高效转化,从而推动北京市经济、生态可持续发展。GEP与GDP的双增长态势一定程度上反映森林经营技术优化促进森林多重效益的发挥,实现了首都山区森林资源质量和生态服务功能的稳步提高,生态服务功能能够推动区域经济发展^[37]。值得注意的是,社会经济的快速发展以及城市化进程的加快促使人们对城市生态系统生态功能和服务需求激增,导致北京市生态系统发展仍存在一定的隐患,例如林业产品价值以及休闲游憩价值大幅度增加,可能会出现牺牲生态系统功能以获取短时利益、森林过度采伐等行为。未来,管理者应该执行更加优化合理的森林经营技术,积极响应国家实施天然林保护和退耕还林还草号召,坚持一体化保护和系统化治理,与“双碳”目标相结合,推动污染减排和绿色发展,从更长远维度衡量经济社会的可持续发展^[38]。

由于数据获取、处理以及参考资料不同使核算结果存在误差,在今后研究中需进一步深入完善和规范研究方法。虽然核算结果存在一定误差,但该

方法仍可有效反映北京市生态系统的生态效益,并根据核算结果反映出北京市山区森林经营技术实施效果良好,有利于以直观的方式认识到北京市森林经营的生态效益,为后续森林经营技术进一步优化提供一定的参考依据。

5 结论

探讨以GEP核算理论为基础评价北京市山区森林经营技术对生态服务功能的增强效果,通过生态产品与服务价值实现视角定量评估区域生态产品与服务价值,为科学合理地提高山区森林经营水平提供重要参考,保证北京市经济效益、生态效益和社会效益协同发展。本研究山区森林经营技术实施对生态系统作用效果如下。

2018年GEP三大服务中,调解服务价值量最大(3 921.22亿元)、文化服务价值量次之(1 366.83亿元)、供给服务价值量最小(315亿元)。

2000、2010、2018年的GEP分别为2 572.45、3 961.02、5 603.04亿元,GEP和GDP呈现双增长态势,GEP增速低于GDP,各年绿金指数分别为0.80、0.27、0.18,呈现逐年下降的趋势。山区森林经营技术实施效果逐渐显现,生态价值逐渐转变为经济价值。

根据2000—2018年GEP的变化情况,北京市GEP增幅40.53%,其中2000—2010、2010—2018年增幅分别为18.89%、18.20%,GEP增幅有所减缓。供给服务价值幅度为40.46%,调解服务价值增幅为10.63%,文化服务价值增幅525.91%。

在服务功能指标中,多项服务功能指标价值均表现为正增长的趋势,其中以林业产品生产的价值增量、增幅最大,其次是休闲游憩的增长量;而畜牧业、渔业、农业产品以及气候调节价值量出现负增长趋势,但变幅较小;GEP核算结果总体保持稳定增长变化,生态系统服务功能价值逐年增加,表明森林经营技术的优化改善了林地综合质量,生态系统服务功能显著增强。

参考文献:

- [1] 姚卫红. 森林经营综合效益评价方法与发展趋势[J]. 现代园艺, 2019(14): 208-209.
- [2] 邹大林, 陈峻崎, 南海龙, 等. 关于推进近自然森林经营 提升北京森林质量与功能的思考[J]. 河北林业科技, 2013(1): 29-30.
- [3] 刘镇元. 中央一号文件明确多项惠林政策[J]. 中国林业, 2010(4): 1.
- [4] 欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 等. 生态系统生产总值核算: 概念、核算方法与案例研究[J]. 生态学报, 2013, 33(21): 6747-6761.
- [5] 欧阳志云, 郑华, 谢高地, 等. 生态资产、生态补偿及生态文明

- 科技贡献核算理论与技术[J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7136-7139.
- [6] 白杨, 李晖, 王晓媛, 等. 云南省生态资产与生态系统生产总值核算体系研究[J]. 自然资源学报, 2017, 32(7): 1100-1112.
- [7] 董天, 张路, 肖赓, 等. 鄂尔多斯市生态资产和生态系统生产总值评估[J]. 生态学报, 2019, 39(9): 3062-3074.
- [8] 靳芳, 鲁绍伟, 余新晓, 等. 森林生态系统服务功能价值评估问题[J]. 西北林学院学报, 2005, 22(3): 18-22.
- JIN F, LU S W, YU X X, *et al.* On forest ecosystem service and its evaluation in China[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 22(3): 18-22. (in Chinese)
- [9] 白玛卓嘎, 肖赓, 欧阳志云, 等. 甘孜藏族自治州生态系统生产总值核算研究[J]. 生态学报, 2017, 37(19): 6302-6312.
- BAIMA Z G, XIAO Y, OUYANG Z Y, *et al.* Gross ecosystem product accounting for the Garzê Tibetan Autonomous prefecture[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(19): 6302-6312. (in Chinese)
- [10] 国家发展和改革委员会, 国家统计局. 生态产品总值核算规范[M]. 北京: 人民出版社, 2022.
- [11] 李少宁, 陶雪莹, 鲁绍伟, 等. 北京市经济林生态系统服务功能评估[J]. 西北林学院学报, 2022, 37(1): 267-272.
- LI S N, TAO X Y, LU S W, *et al.* Evaluation of the service function of Beijing non-timber forest ecosystem[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2022, 37(1): 267-272. (in Chinese)
- [12] 韦艳葵. 北京平原地区森林资源状况及经营策略[J]. 林业资源管理, 2022, 51(2): 10-18.
- [13] 李祖政. 北京市生态系统服务对气候和土地利用的响应及情景模拟[D]. 北京: 北京林业大学, 2021.
- [14] 吴之见, 杜思敏, 黄云, 等. 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[J]. 生态学报, 2022, 42(16): 6670-6683.
- WU Z J, DU S M, HUANG Y, *et al.* Assessment of ecological conservation effect in southern Jiangxi Province based on gross ecosystem product[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(16): 6670-6683. (in Chinese)
- [15] YANY C, LIU X P, WANG F Y, *et al.* Assessing the impacts of urban sprawl on net primary productivity using fusion of landsat and MODIS data[J]. Science of the Total Environment, 2018, 613: 1417-1429.
- [16] 北京市生态环境局. DB11/T 2059—2022《生态产品总值核算技术规范》[S/OL]. 北京: 北京市市场监管局, (2023-01-05)[2023-05-09]. <http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/sthjlyzwg/jczf/326012661/index.html>.
- [17] 王莉雁, 肖赓, 欧阳志云, 等. 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[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(3): 146-154.
- [18] 侯元兆, 王琦. 中国森林资源核算研究[J]. 世界林业研究, 1995(3): 51-56.
- [19] 廖薇. 黎平县生态系统生产总值(GEP)核算研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2019.
- [20] 国家林业局. 森林生态系统服务功能评估规范: LY/T 1721—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [21] AUSSEIL A G E, DYMOND J R., KIRSCHBAUM M U F, *et al.* Assessment of multiple ecosystem services in New Zealand at the catchment scale[J]. Environment Modeling & Software, 2013, 43: 37-48.
- [22] 欧阳志云, 赵同谦, 赵景柱, 等. 海南岛生态系统生态调节功能及其生态经济价值研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1395-1402.
- [23] 肖玉, 谢高地, 安凯. 青藏高原生态系统土壤保持功能及其价值[J]. 生态学报, 2003, 22(11): 2367-2378.
- [24] 董孟君. 基于GEP的资源枯竭型城市生态用地时空演变及其效应研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2022.
- [25] 李佳蕾, 孙然好, 熊木齐, 等. 基于RUSLE模型的中国土壤水蚀时空规律研究[J]. 生态学报, 2020, 40(10): 3473-3485.
- LI J L, SUN R H, XIONG M Q, *et al.* Estimation of soil erosion based on the RUSLE model in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(10): 3473-3485. (in Chinese)
- [26] 高清竹, 何立环, 黄晓霞, 等. 海河上游农牧交错地区生态系统服务价值的变化[J]. 自然资源学报, 2002(6): 706-712.
- [27] 国家发展计划委员会, 财政部, 国家环境保护总局, 等. 排污费征收标准管理办法[J]. 环境工程通讯, 2003(5): 5-9.
- [28] 饶恩明, 肖赓, 欧阳志云, 等. 中国湖泊水量调节能力及其动态变化[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6225-6231.
- [29] 饶恩明, 肖赓, 欧阳志云. 中国湖库洪水调蓄功能评价[J]. 自然资源学报, 2014, 29(8): 1356-1365.
- [30] 魏冬, 杨阳, 倪细炉, 等. 区域森林生态系统服务功能评估——以宁夏回族自治区为例[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(3): 278-284.
- WEI D, YANG Y, NI X L, *et al.* Regional forest ecosystem services assessment: a case study of Ningxia Hui Autonomous [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(3): 278-284. (in Chinese)
- [31] 韩素芸. 湖南省主要森林类型生态服务功能及价值评价[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2010.
- [32] 马新辉, 孙根年, 任志远. 西安市植被净化大气物质量的测定及其价值评价[J]. 干旱区资源与环境, 2002(4): 83-86.
- [33] 贾军梅, 罗维, 杜婷婷, 等. 近十年太湖生态系统服务功能价值变化评估[J]. 生态学报, 2015, 35(7): 2255-2264.
- JIA J M, LUO W, DU T T, *et al.* Valuation of changes of ecosystem services of Tai Lake in recent 10 years[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(7): 2255-2264. (in Chinese)
- [34] 林瑛焱, 徐昔保. 长三角地区生态系统生产总值时空变化及重要生态保护空间识别[J]. 资源科学, 2022, 44(4): 847-859.
- [35] 张彪, 高吉喜, 谢高地, 等. 北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估[J]. 生态学报, 2012, 32(24): 7698-7705.
- ZHANG B, GAO J X, XIE G D, *et al.* Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7698-7705. (in Chinese)
- [36] 高洁, 黄选瑞, 许中旗. 森林经营方案管理发展研究[J]. 河北林果研究, 2008(1): 40-44.
- [37] 苏立娟, 张谱, 何友均. 森林经营综合效益评价方法与发展趋势[J]. 世界林业研究, 2015, 28(6): 6-11.
- [38] 孙金龙, 黄润秋. 以习近平生态文明思想为指导 建设人与自然和谐共生的美丽中国[J]. 环境与可持续发展, 2022, 47(2): 9-14.