

引用格式: 彭红军, 徐笑, 汪睿琪, 等. 中国森林生态产品价值及其实现效率评估[J]. 资源科学, 2026, 48(4): 908-923. [Peng H J, Xu X, Wang R Q, et al. Evaluation of value and realization efficiency of China's forest ecological products[J]. Resources Science, 2026, 48(4): 908-923.] DOI: 10.18402/resci.2026.04.11

# 中国森林生态产品价值及其实现效率评估

彭红军<sup>1,2</sup>, 徐笑<sup>1</sup>, 汪睿琪<sup>1</sup>, 冯鑫<sup>1</sup>

(1. 南京林业大学经济管理学院, 南京 210037; 2. 南京林业大学金埔研究院, 南京 210037)

**摘要:**【目的】科学评估森林生态产品价值及其实现效率, 为提升“两山”理论实践成效、推进生态文明建设提供理论支撑。【方法】以2011—2022年为研究期, 结合高分辨率空间数据和统计数据, 系统测算中国31个省份森林生态产品价值及其实现效率。以栅格单元为核算的基本空间单位, 按省级行政区统计得到中国31个省份森林生态产品价值; 进一步运用非期望产出的超效率SBM模型及Global Malmquist-Luenberger指数对森林生态产品价值实现效率进行静态综合评价。【结果】①2011—2022年中国森林生态产品价值呈现稳步提升的时序演变特征, 价值结构整体格局为“调节服务类>文化服务类>物质供给类”, 空间分布呈现“南高北低”的梯度差异, 五大林区价值总量形成“南方林区>西南林区>华北林区>西北林区>东北林区”的空间分异格局。②静态视角下, 2011—2022年森林生态产品价值实现效率逐年递增, 并呈现空间集聚趋势和效率趋同特征; 西北林区和华北林区效率较高但波动显著, 南方林区和西南林区效率持续提升且增长稳定, 东北林区长期处于较低水平。动态视角下, 森林生态产品价值实现效率变化指数呈上升趋势, 其中技术进步对效率提升贡献较大。【结论】中国森林生态产品价值及其实现效率均处于非均衡状态且二者在区域分布上存在空间错配, 应聚焦“扩大供给能力”与“完善价值转化机制”两大维度, 因地制宜实施差异化林业发展策略, 促进生态-经济-社会协同增效。

**关键词:** 森林生态产品; GEP核算; 实现效率; SBM-GML模型; 时空演变

DOI: 10.18402/resci.2026.04.11

## 1 引言

2024年, 习近平总书记在参加首都义务植树活动时指出, “拓展绿水青山转化为金山银山的路径, 推动森林‘水库、钱库、粮库、碳库’更好联动, 实现生态效益、经济效益、社会效益相统一”。近年来, 随着“两山”理念深入实践与高质量国土绿化措施的持续推进, 我国森林资源增长显著。截至2023年年底, 全国森林覆盖率已超过25%, 森林蓄积量突破200亿 $m^3$ , 年碳汇量达到12亿t以上, 人工林保存面积达9240.87万 $hm^2$ , 成为全球森林资源最为丰富的国家之一<sup>[1]</sup>。作为陆地生态系统的重要组成部分, 森林生态系统提供的生态产品在满足人民日益增长的美好生活需要中发挥着日益重要的作用。

森林生态产品是指在一定区域或空间内, 以森

林自然资源为载体, 通过生态调节、人为管理等方式, 向自然界提供的且能满足人类需求的各类产品和服务的总称<sup>[2]</sup>。国际上与之对应的是“森林生态系统服务”的概念。按自然属性划分, 森林生态产品可划分为3类: ①物质供给类, 即直接为人类生产生活提供的物质产品, 如木材、竹材、果品、蔬菜、油料、饮料、调料等; ②调节服务类, 指森林生态系统维持或改善人类生存环境的功能, 包括水源涵养、水土保持、空气净化、防风固沙、固碳释氧、局部气温调节等; ③文化服务类, 即森林为提升人类福祉所带来的非物质惠益, 如旅游康养、休闲游憩等<sup>[3]</sup>。森林生态产品价值是在森林生态产品类别识别的基础上, 通过核算3类生态产品价值, 将生态系统的贡献转化为可量化的货币价值; 根据各种森林生态

收稿日期: 2025-02-11; 修订日期: 2025-06-10

基金项目: 国家社会科学基金后期资助项目(25FGLB080); 江苏省社会科学基金项目(23EYD004)

作者简介: 彭红军, 男, 安徽池州人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为生态产品价值实现机制、林业碳汇、碳金融。E-mail: penghj@njfu.edu.cn

2026年4月

产品价值表现形式、是否能在市场进行交易等因素,可采用市场价值法、替代成本法等方法对其进行评估。森林生态产品价值可用于评估生态保护成效,描述生态系统的整体状况<sup>[4]</sup>,量化森林资源对社会经济和人类福祉的贡献,促进经济发展与生态环境保护和谐共生<sup>[5]</sup>。现有研究在森林生态产品价值评估方面已取得重要进展。例如,部分研究集中于评估森林固碳、水源涵养等森林调节服务功能价值<sup>[6]</sup>,为相关政策制定提供了科学依据;部分研究核算了祁连山国家公园<sup>[7]</sup>、北京市某林场<sup>[8]</sup>等地区的森林生态产品价值,揭示了该地区森林生态产品价值的区域差异和空间特征。以上研究为揭示森林生态系统的多功能性和区域分异性提供了重要的理论基础与实证支撑。

森林生态产品价值实现是将生态产品所蕴含的潜在价值外化为经济、社会和生态效益的过程<sup>[9]</sup>,旨在推动社会-经济-自然复合生态系统协调发展。生态产品通过市场化或非市场化途径被人类消费或使用,所产生的经济效益与社会效益经由社会系统进行分配,其中部分资金将用于反哺自然生态系统,进行生态修复与功能提升,从而产生相应的生态效益。这一反馈机制为生态产品生产与供给提供了可持续的内生动力<sup>[10]</sup>。由此,生态产品价值由最初的潜在价值最终转化为显性的经济效益、社会效益与生态效益<sup>[11]</sup>。其中,经济效益主要体现为森林资源经营活动中可纳入现行货币计量体系并可通过市场交易实现的各类收益<sup>[12]</sup>;社会效益强调了森林在促进社会文明进步、保障公众健康以及提升人民生活水平等方面的益处<sup>[13]</sup>;生态效益则反映了森林生态产品价值实现反哺阶段带来的保值与增值效应,依据资源循环与价值增值原理,对生态系统的维护和建设,既可进一步改善生态环境,又可实现生态产品的数量增值和质量增值<sup>[14,15]</sup>。鉴于我国不同区域森林资源供给能力及生态产品产出存在显著差异,如何科学合理评估各区域森林生态产品价值及其转化水平,是当前亟待解决的复杂问题<sup>[16]</sup>。目前,评估生态产品价值实现成效的关键指标有与生态产品直接相关的生态产业产值<sup>[17]</sup>、生态产品价值实现率<sup>[18]</sup>与生态产品价值实现效率<sup>[19,20]</sup>等。其中,森林生态产品价值实现效率作为衡量价值实现程度的重要指标,将森林所蕴含的生态产品价值

与物质资本、劳动力、土地等投入要素共同纳入生产函数中<sup>[5,20,21]</sup>,能够揭示生态产品投入与产出间的冗余度,客观反映资源利用率与价值转化水平<sup>[15]</sup>。森林生态产品价值实现效率越高,意味着森林资源优势向经济优势转化的效果越显著<sup>[20]</sup>,人们对优质生态环境的需求越能得到有效满足;同时,价值实现效率提升有助于促进生态效益共享与利益反馈,进而提升各类主体参与森林生态保护与修复的意愿与投入水平,从而推动森林生态产品供给能力提升、促进森林生态资源保护与开发进入良性循环<sup>[22]</sup>。

本文以2011—2022年为研究期,系统评估中国31个省份森林生态产品价值及其实现效率,研究贡献主要体现在以下3个方面:①揭示中国省级层面森林生态产品价值及其实现效率的时空分布特征。现有文献主要集中于特定区域或单一森林生态系统服务功能的探讨,缺乏对森林生态产品价值的全面系统性评估,尤其是全国范围内多类别服务功能的综合核算结果尚显不足,相关价值实现效率评估研究也较为缺乏,难以全面揭示中国森林生态产品价值及其实现效率的时空演变规律与区域分异特征;②集成遥感影像、文献资料、社会经济等多源数据与成果,构建省级尺度森林生态产品价值评估核算方法体系。本文基于GIS技术,结合高分辨率空间数据和统计数据,以栅格单元为核算的基本空间单位,科学评估森林生态产品价值,并按省级行政区统计核算结果,增强了评估结果的空间精度与区域适用性,可为森林生态产品价值核算体系建设提供方法支撑。③从经济、社会、生态三重效益出发,系统构建森林生态产品价值实现效率的投入产出指标体系。现有森林生态产品价值实现效率指标体系仅关注经济效益,鲜有学者注重价值实现过程中对社会民生改善及生态环境可持续发展的综合考量,尚未将社会效益和生态效益纳入价值实现效率评价框架之中。本文综合考虑森林生态产品价值实现在经济、社会、生态层面的期望产出及林业污染等非期望产出,为森林生态产品价值实现效率的科学评估与优化提供更为全面的理论框架。

## 2 研究方法 with 数据

### 2.1 研究方法

#### 2.1.1 森林生态产品价值评估方法

本文遵循《陆地生态系统生产总值(GEP)核算

技术指南》《森林生态系统服务功能评估规范》(GB/T38582—2020)与《生态产品总值核算规范(试行)》(发改基础[2022]481号)等指导原则,构建中国省域尺度的森林生态产品价值核算指标体系,将森林生态产品划分为物质供给类、调节服务类和文化服务类3大类别(图1)。其中,物质供给类和文化服务类产品价值主要基于统计数据核算;调节服务类产品实物量基于遥感数据测算,在此基础上结合统计数据评估其价值量。

(1)物质供给类

物质供给类森林生态产品能满足人类的基本需求,为社会发展提供重要的物质基础。本文评估的物质供给类森林生态产品价值主要包括木材产品价值与非木材产品价值,其中,非木材产品价值主要包括竹材价值和各类经济林产品价值等。

(2)调节服务类

固碳释氧。固碳释氧是森林生态系统的重要功能,植物通过光合作用吸收大气中的CO<sub>2</sub>,释放氧气,从而降低大气中CO<sub>2</sub>浓度,减缓温室效应,稳定大气中O<sub>2</sub>含量,并改善人居环境<sup>[23]</sup>。本文采用净初级生产力(NPP)与净生态系统生产力(NEP)的相关转换系数核算森林生态系统固碳释氧总量,并运用市场价值法、替代成本法评估森林固碳释氧价值。具体计算公式如下:

$$V_{cf} = Q_{cf} \times P_{cf} = \left( \frac{M_{CO_2}}{M_C} \times NEP \times A \times 10^3 \right) \times P_{cf} \quad (1)$$

$$= \left( \frac{M_{CO_2}}{M_C} \times NPP \times \alpha \times A \times 10^3 \right) \times P_{cf}$$

式中:V<sub>cf</sub>为森林固碳价值(元/a);Q<sub>cf</sub>为森林生态系统固碳量(t·CO<sub>2</sub>/a);P<sub>cf</sub>为CO<sub>2</sub>市场价格(元/t·CO<sub>2</sub>); $\frac{M_{CO_2}}{M_C} = \frac{44}{12}$ ,为C转化为CO<sub>2</sub>的系数;

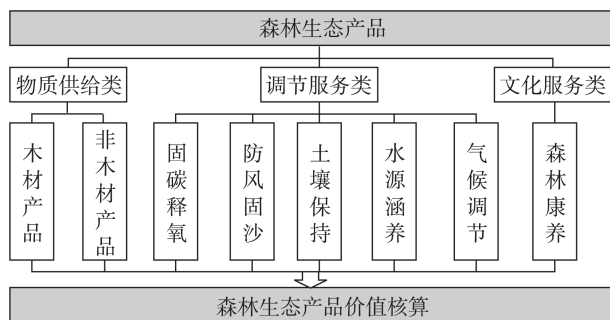


图1 森林生态产品指标体系

Figure 1 Indicator system for forest ecological products

NEP为净生态系统生产力(kg·C/(a·m<sup>2</sup>));NPP为净初级生产力(kg·C/(a·m<sup>2</sup>));A为核算单元面积(km<sup>2</sup>);α为各省NEP与NPP转化系数,取值参考《陆地生态系统生产总值(GEP)核算技术指南》。

$$V_{or} = Q_{or} \times P_{or} = \left( \frac{M_{O_2}}{M_{CO_2}} \times Q_{cf} \right) \times P_{or} \quad (2)$$

式中:V<sub>or</sub>为森林释氧价值(元/a);Q<sub>or</sub>为森林生态系统释氧量(t·O<sub>2</sub>/a);P<sub>or</sub>为O<sub>2</sub>价格(元/t·O<sub>2</sub>),采用制氧成本价格; $\frac{M_{O_2}}{M_{CO_2}} = \frac{32}{44}$ ,为CO<sub>2</sub>转化为O<sub>2</sub>的系数。

防风固沙。森林具有抵抗风沙的能力,可以减少风蚀导致的土壤侵蚀,从而在土地沙化治理工作中发挥重要作用<sup>[24]</sup>。本文采用森林生态系统潜在风蚀量与实际风蚀量的差值来表示森林生态系统防风固沙实物量<sup>[25]</sup>,其计算原理来自修正风力侵蚀模型(RWEQ),运用替代成本法核算森林防风固沙价值。具体计算公式如下:

$$Q_{sf} = 0.1699 \times (WF \times EF \times SCF \times K')^{1.3711} \times (1 - C'^{1.3711}) \times A \quad (3)$$

式中:Q<sub>sf</sub>为防风固沙量(t/a);WF为气候侵蚀因子(kg/m);EF为土壤侵蚀因子(无量纲);SCF为土壤结皮因子(无量纲);K'为地表粗糙度因子(无量纲);C'为植被覆盖度因子(无量纲)。

$$V_{sf} = \frac{Q_{sf}}{\rho \times h} \times c_{sf} \quad (4)$$

式中:V<sub>sf</sub>为防风固沙价值(元/a);ρ为土壤容重(t/m<sup>3</sup>);h为土壤沙化覆沙厚度(m);c<sub>sf</sub>为单位植被恢复成本(元/m<sup>2</sup>),取值参考财政部、原国家林业局印发的《关于调整森林植被恢复费征收标准引导节约集约利用林地的通知》。

土壤保持。土壤保持是指森林生态系统通过其固有的结构和功能,减少土壤因降水、风力、冰冻或重力作用而发生的侵蚀和水分流失<sup>[26]</sup>。这一过程有助于降低区域土地退化的风险,并减少洪涝灾害的发生。本文基于修正通用土壤流失方程(RUSLE),以无植被覆盖和任何水土保持措施时的土壤侵蚀量与考虑地表植被覆盖和水土保持措施下的土壤侵蚀量之差衡量土壤保持量<sup>[27]</sup>,运用替代成本法核算土壤保持价值。具体计算公式如下:

$$Q_{sr} = R \times K \times L \times S \times (1 - C' \times \beta) \times A \times 10^2 \quad (5)$$

式中:Q<sub>sr</sub>为森林生态系统土壤保持量(t/a);R为降

2026年4月

雨侵蚀因子( $\text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ ); $K$ 为土壤可蚀性因子( $\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h}/(\text{hm}^2\cdot\text{MJ}\cdot\text{mm})$ ); $L$ 、 $S$ 为坡长、坡度因子(无量纲); $\beta$ 为水土保持措施因子(无量纲),取值为1<sup>[28]</sup>。

$$V_{\text{sr}} = V_{\text{sd}} + V_{\text{dpd}} = \theta \times \left( \frac{Q_{\text{sr}}}{\rho} \right) \times c_{\text{sd}} + \sum_{b=1}^2 Q_{\text{sr}} \times \delta_b \times P_b \quad (6)$$

式中: $V_{\text{sr}}$ 、 $V_{\text{sd}}$ 、 $V_{\text{dpd}}$ 分别为森林生态系统土壤保持价值(元/a)、减少泥沙淤积价值(元/a)和减少面源污染价值(元/a); $c_{\text{sd}}$ 为单位水库清淤工程费用(元/ $\text{m}^3$ ),取1.88(元/ $\text{m}^3$ )<sup>[29]</sup>; $\rho$ 为土壤容重( $\text{t}/\text{m}^3$ ); $\theta$ 为泥沙淤积系数,取值为0.24<sup>[29]</sup>;  $b=1,2$ 分别表示土壤中氮、磷营养物质; $\delta_b$ 为土壤中氮、磷营养物质的纯含量(%); $P_b$ 为氮、磷营养物质的环境降解成本,分别取875(元/t)和2800(元/t)<sup>[30]</sup>。

水源涵养。森林水源涵养功能可有效储存和调节水资源,确保水源稳定供给,并对于旱、洪涝等水文灾害起防治作用,促进水资源可持续利用和生态平衡<sup>[31]</sup>。由于中国森林地区的降水强度一般低于土壤的渗透能力,因此森林土壤一般不会出现快速地表径流,本文运用水量平衡法将水源涵养实物量表示为降雨量和实际蒸散发量之差<sup>[32]</sup>,并运用替代成本法核算水源涵养价值量。公式如下:

$$V_{\text{wr}} = Q_{\text{wr}} \times (C_{\text{wr}} + P_{\text{wr}} \times D_{\text{wr}}) = A \times (F - ET) \times 10^3 \times (C_{\text{wr}} + P_{\text{wr}} \times D_{\text{wr}}) \quad (7)$$

式中: $V_{\text{wr}}$ 为森林生态系统水源涵养价值量(元/a); $Q_{\text{wr}}$ 为森林生态系统水源涵养实物量( $\text{m}^3/\text{a}$ ); $C_{\text{wr}}$ 为水库单位库容的年运营成本(元/ $(\text{m}^3\cdot\text{a})$ ); $P_{\text{wr}}$ 为水库单位库容的工程造价(元/ $\text{m}^3$ ),取值参考《全国水利发展统计公报2015》《中国水利统计年鉴2005》; $D_{\text{wr}}$ 为水库的年折旧率; $F$ 为降雨量( $\text{mm}/\text{a}$ ); $ET$ 为实际蒸散发量( $\text{mm}/\text{a}$ )。

气候调节。气候调节是指森林生态系统通过植物的树冠和光合作用吸收大量的太阳光能,从而减缓气温升高<sup>[33]</sup>。本文结合蒸散模型,采用森林生态系统蒸散发消耗的总能量作为森林生态系统气候调节服务实物量的评价指标,并运用替代成本法核算气候调节价值。具体计算公式如下:

$$V_{\text{tt}} = E_{\text{pt}} \times P_e = \frac{P_e \times EPP \times A \times D \times 10^6}{3600 \times \varepsilon} \quad (8)$$

式中: $V_{\text{tt}}$ 为森林气候调节价值(元/a); $E_{\text{pt}}$ 为森林蒸

散发消耗的能量( $\text{kWh}/\text{a}$ ); $P_e$ 为当地生活消费电价(元/ $\text{kWh}$ ); $EPP$ 为森林单位面积蒸散发消耗热量( $\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ),取2837.27( $\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ )<sup>[34]</sup>;  $D$ 为开放空调降温的天数( $\text{d}/\text{a}$ ); $\varepsilon$ 为空调能效比(无量纲),取3.0<sup>[35]</sup>。

价格参数转换系数。鉴于部分价格参数并非评估年价格参数,因此参考《森林生态系统服务功能评估规范》中价格参数转换系数,对非评估年份价格进行换算,计算公式如下:

$$\begin{cases} \mu = (1 + d_{n'+1})(1 + d_{n'+2}) \cdots (1 + d_{m'}) \\ d = \frac{1}{2} (\zeta + \eta) \end{cases} \quad (9)$$

式中: $\mu$ 为价格参数转换系数; $d$ 为价格指数; $n'$ 为价格参数可获得年份; $m'$ 为评估年份; $\zeta$ 和 $\eta$ 分别为银行的平均存款利率、贷款利率。

### (3)文化服务类

森林生态系统通过其文化服务功能,为人类的物质和精神文化生活提供了丰富的滋养。森林康养以优质的森林资源和良好的森林环境为基础,通过森林医疗、康复、保健等活动,促进人类身心健康<sup>[36]</sup>。本文依据《森林生态系统服务功能评估规范》对森林康养价值进行评估。计算公式如下:

$$V_r = 0.8 \times V_{\text{fe}} \quad (10)$$

式中: $V_r$ 为森林康养价值(元/a); $V_{\text{fe}}$ 为林业旅游与休闲产业及森林康复治疗产业的价值(元/a),包括旅游收入、直接带动的其他产业产值。

### 2.1.2 森林生态产品价值实现效率评估方法

#### (1)超效率SBM模型

超效率SBM模型融合了超效率DEA模型和传统SBM模型的优势,既能解决多个效率前沿面下的排序问题,又可引入非期望产出以精确测度效率值<sup>[37]</sup>。本文据此构建含非期望产出的森林生态产品价值实现效率评估模型,并将每个省份视为一个决策单元(decision unit, DMU)。参考成刚<sup>[38]</sup>推出的公式,使用全局非期望产出的规模报酬不变的超效率SBM模型。设 $\rho^*$ 为决策单元相对效率值, $n$ 为决策单元的个数, $m$ 、 $q_1$ 、 $q_2$ 分别为投入、期望产出和非期望产出指标的数量, $s_i^+$ 、 $s_k^+$ 、 $s_r^+$ 分别为第 $i$ 种投入、第 $k$ 种期望产出、第 $r$ 种非期望产出的松弛变量, $x_{i0}$ 、 $y_{k0}$ 、 $z_{r0}$ 分别为其对应的原始值, $x_j$ 、 $y_j$ 、 $z_j$ 分别为第 $j$ 个决策单元的投入、期望产出和非期望产出, $\lambda_j$ 为权重向量。公式可表示为:

$$\rho^* = \min \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^x}{x_{i0}}}{1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left( \sum_{k=1}^{q_1} \frac{s_k^y}{y_{k0}} + \sum_{r=1}^{q_2} \frac{s_r^z}{z_{r0}} \right)}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} x_{i0} \geq \sum_{j=1, j \neq 0}^n \lambda_j x_j - s_i^x, \forall i \\ y_{k0} \leq \sum_{j=1, j \neq 0}^n \lambda_j y_j + s_k^y, \forall k \\ z_{r0} \geq \sum_{j=1, j \neq 0}^n \lambda_j z_j - s_r^z, \forall r \\ 1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left( \sum_{k=1}^{q_1} \frac{s_k^y}{y_{k0}} + \sum_{r=1}^{q_2} \frac{s_r^z}{z_{r0}} \right) > 0 \\ s_i^x \geq 0, s_k^y \geq 0, s_r^z \geq 0, \lambda_j \geq 0, \forall i, j, k, r \end{cases} \quad (11)$$

当  $\rho^* \geq 1$  时, 相对有效且值越大表示效率越好;  $\rho^* < 1$  时, 决策单元与生产前沿面存在一定距离, 即存在效率损失。

(2) Global Malmquist-Luenberger 指数

为进一步研究 DMU 的效率如何随时间变化, 本文利用 Global Malmquist-Luenberger (GML) 指数分析森林生态产品价值实现效率的动态变化情况, 并对动态效率值进行分解。GML 指数基于全时期样本构建统一的生产前沿面, 有效克服了传统 Malmquist-Luenberger 指数分解中依赖相邻期参照而缺乏传递性的问题, 且采用全局生产技术集避免了线性规划中的不可行解问题<sup>[39]</sup>。GML 指数进一步可分解为全局技术效率变化 (Global Efficiency Change, GEC) 指数和全局技术进步变化 (Global

Technological Change, GTC) 指数。具体公式如下:

$$GML^{t,t+1} = \frac{E^G(x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1})}{E^G(x^t, y^t, z^t)} = \frac{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1})}{E^t(x^t, y^t, z^t)} \times \left[ \frac{E^G(x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1})}{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1})} \times \frac{E^t(x^t, y^t, z^t)}{E^G(x^t, y^t, z^t)} \right] = GEC^{t,t+1} \times GTC^{t,t+1} \quad (12)$$

式中:  $GML^{t,t+1}$ 、 $GEC^{t,t+1}$ 、 $GTC^{t,t+1}$  分别为决策单元从第  $t$  期至第  $t+1$  期的森林生态产品价值实现效率变化指数、技术效率变化指数和技术进步变化指数;  $E^G$  为全局效率值;  $E^t(\cdot)$  和  $E^{t+1}(\cdot)$  分别为第  $t$  和  $t+1$  期生产前沿下的效率值;  $x^t, y^t, z^t, x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1}$  分别为决策单元在第  $t$  期至第  $t+1$  期的投入、期望产出和非期望产出变量。  $GML^{t,t+1} > 1$  为效率提高,  $GML^{t,t+1} < 1$  则为效率下降;  $GEC^{t,t+1} > 1 (< 1)$  为技术效率提升 (下降);  $GTC^{t,t+1} > 1 (< 1)$  为技术进步 (退步)<sup>[40]</sup>。

(3) 投入产出指标构建

参考已有研究, 构建森林生态产品价值实现效率投入产出指标体系 (表 1)。投入指标参考相关研究<sup>[5,20]</sup>, 纳入物质资本、人力资本、土地资本和森林生态资本 4 类要素。产出指标方面, 基于森林生态产品价值实现的内涵, 从经济效益、社会效益、生态效益 3 个维度设定期望产出, 旨在综合反映森林生态产品在“绿水青山”与“金山银山”双向转化过程中对产业发展、生态改善与民生福祉的多元贡献。其中, 经济效益以林业总产值表征, 既是林业产业发

表 1 森林生态产品价值实现效率测算指标体系

Table 1 Indicator system for measuring realization efficiency of forest ecological product value

类别	一级指标	二级指标	三级指标
投入指标	物质资本	林业固定资产投资完成额/万元	
	人力资本	林业系统从业人员年末人数/人	
	土地资本	森林面积/hm <sup>2</sup>	
	生态资本	森林生态产品价值/万元	物质供给产品价值 调节服务产品价值 文化服务产品价值
期望产出指标	经济效益	林业产业产值/万元	林业第一产业产值 林业第二产业产值 林业第三产业产值
	社会效益	林业系统在岗职工年平均工资/元	
	生态效益	造林面积/hm <sup>2</sup>	
非期望产出指标	林业污染	林业废水排放量/t 林业废气排放量/t 林业废弃物产生量/t	

2026年4月

展绩效的最直接表现,又是林业经济效益产出的综合反映<sup>[41]</sup>;社会效益以林业系统在岗职工年平均工资表征,用于衡量林业对就业促进和人民生活水平改善的贡献<sup>[42]</sup>;生态效益以造林面积表征,能够体现生态环境特征,反映生态再建设成效,数值越大,表明该地区林业投入越充足、生态效益产出越大、“金山银山”反哺“绿水青山”的力度越强<sup>[43-45]</sup>。非期望产出主要包括林业生产过程中产生的废水、废气与固体废弃物等,鉴于林业行业对生态环境产生的污染主要集中在林业第二产业<sup>[46]</sup>,故采用林业第二产业产值、工业总产值以及工业“三废”指标间接测算,这一方法在数据可得性受限情况下具有实践可行性。

## 2.2 数据来源及说明

统计数据来源于《中国林业统计年鉴》《中国林业和草原统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国电力年鉴》及各省份统计年鉴、国泰安数据库等。遥感数据及相关空间地理数据方面,净初级生产力、实际蒸散发量来源于 Google Earth Engine 平台,逐日平均气温、植被覆盖度、年均降水量、月均降水量、DEM 高程数据(提取坡度、坡长等指标)、潜在蒸散发量来源于国家青藏高原科学数据中心,土壤砂粒含量、粉粒含量、黏粒含量、有机质含量、土壤容重等指标来源于世界土壤数据库(Harmonized World Soil Database, HWSD),土地利用类型来源于武汉大学中国土地覆盖数据集(CLCD),行政矢量边界来源于国家地理信息资源目录服务系统。本

文时间范围设定为2011—2022年,空间范围为中国31个省份(因数据缺失未包含港澳台地区)。

## 2.3 数据处理

以栅格单元为基本空间单位,采用 ArcGIS 软件对栅格数据和矢量数据进行处理,运用重采样、重投影、重分类、栅格计算器、面转栅格、按掩膜提取及分区统计等工具,进而获得中国31个省份森林生态产品价值量。其中,对数据中的缺失值和异常值进行插值处理。在此基础上,依托 Matlab 软件进行森林生态产品价值实现效率及其变化指数的测算。

选取2011年、2015年、2019年和2022年4个年份为代表年份,对森林生态产品价值及其实现效率的空间分布特征进行分析。空间分布图借助 ArcGIS 软件中的自然断点法,结合手动调整,将基于省份的森林生态产品价值总量分为10个区间,其中,高于0.6万亿元区域为高价值区域,低于0.6万亿元区域为低价值区域;将森林生态产品价值实现效率划分为5个等级,分别为低效率(0, 0.15]、较低效率(0.15, 0.30]、中效率(0.30, 0.60]、较高效率(0.60, 1.15]、高效率(1.15, 1.58]。此外,参考杨旭等<sup>[47]</sup>的做法,将31个省级行政区划分为东北林区、华北林区、西北林区、西南林区、南方林区五大林区进行讨论。

## 3 结果与分析

### 3.1 森林生态产品价值评估

#### 3.1.1 森林生态产品价值时序演变特征

由图2可见,从时序趋势来看,2011—2022年全

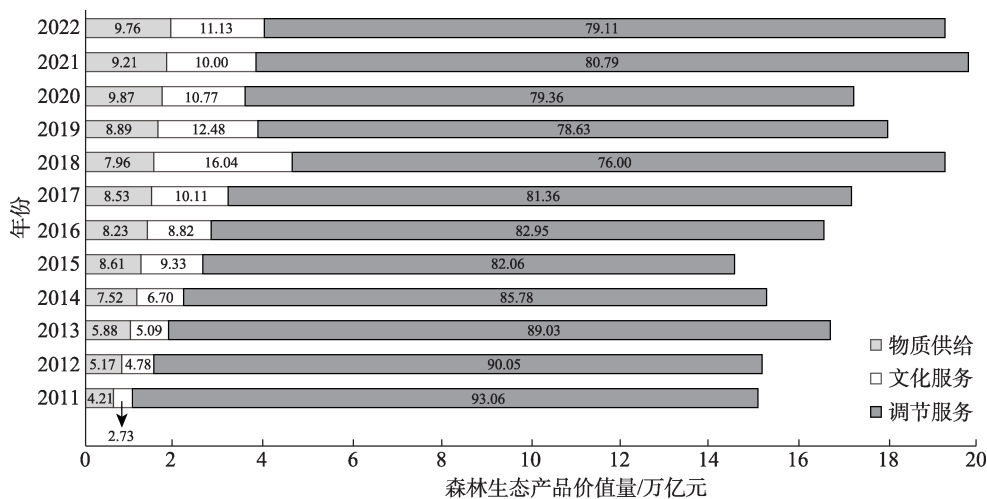


图2 2011—2022年中国森林生态产品价值总量及构成

Figure 2 Total value and composition of China's forest ecological products, 2011-2022

注:图中柱体标签值为物质供给、文化服务、调节服务价值量的当年占比,单位为%。

国森林生态产品价值总量呈现增长态势,价值构成逐步演化为“调节服务类>文化服务类>物质供给类”的格局(图2)。其中,调节服务类产品始终占据主导地位,体现了调节服务在森林生态产品价值构成中的核心地位。长期以来,天然林保护工程、退耕还林还草工程等持续强化了森林的固碳释氧、气候调节、水源涵养等调节服务功能。与此同时,特色林产品、生态旅游、森林康养等产业发展方兴未艾,尽管物质供给类与文化服务类产品价值占比较小,规模和影响力尚未能撼动调节服务类产品的主体地位,但其增长潜力不容忽视。

结合图2可知,调节服务类产品价值占比呈现缓慢下降趋势,由2011年的93.06%降至2022年的79.11%,而物质供给类与文化服务类占比则分别由4.21%、2.73%提升至9.76%、11.13%。这一结构性转变源于两类驱动力,一是产业结构升级效应,林下经济等新业态发展推动物质供给从传统木材采伐向高附加值林产品延伸;二是政策赋能机制,

2011年《国家林业局 国家旅游局关于加快发展森林旅游的意见》的发布使得森林旅游成为国家战略,产业地位得到空前提高<sup>[48]</sup>。此后,《全国生态旅游发展规划》《国家林业和草原局关于促进林草产业高质量发展的指导意见》等相关政策多次强调生态旅游和森林康养在林草高质量发展中的重要作用,这为提升森林文化服务价值提供了有力支撑。可见,森林生态系统经历了从单一调节功能向多功能、多元价值并重的转型,生态产品价值结构趋向多元化与均衡化,体现了中国森林生态产品从以生态保护为主导向保护与利用并重阶段演进。

### 3.1.2 森林生态产品价值空间分布特征

图3为中国森林生态产品价值空间分布栅格图(分辨率1 km)。基于此,对栅格数据分区统计到省份,并将结果与省级行政单元进行空间连接,可得图4所示的省级尺度空间分布图。整体上,我国森林生态产品价值分布呈现显著的空间异质性,表现出“南高北低”的空间分布特点,高价值地区与低价

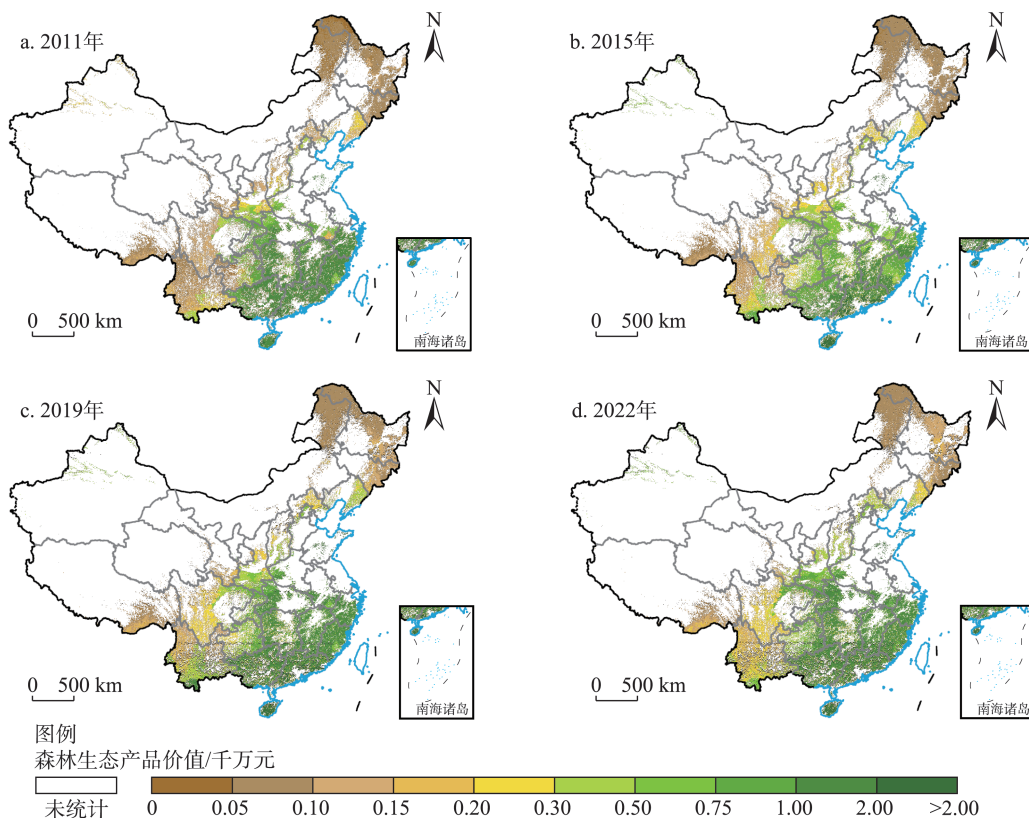


图3 2011、2015、2019、2022年栅格单元的中国森林生态产品价值空间分布

Figure 3 Spatial distribution of China's grid-based forest ecological product value in 2011, 2015, 2019, and 2022

注:基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS2024(0650)号的标准地图制作,底图无修改。

2026年4月

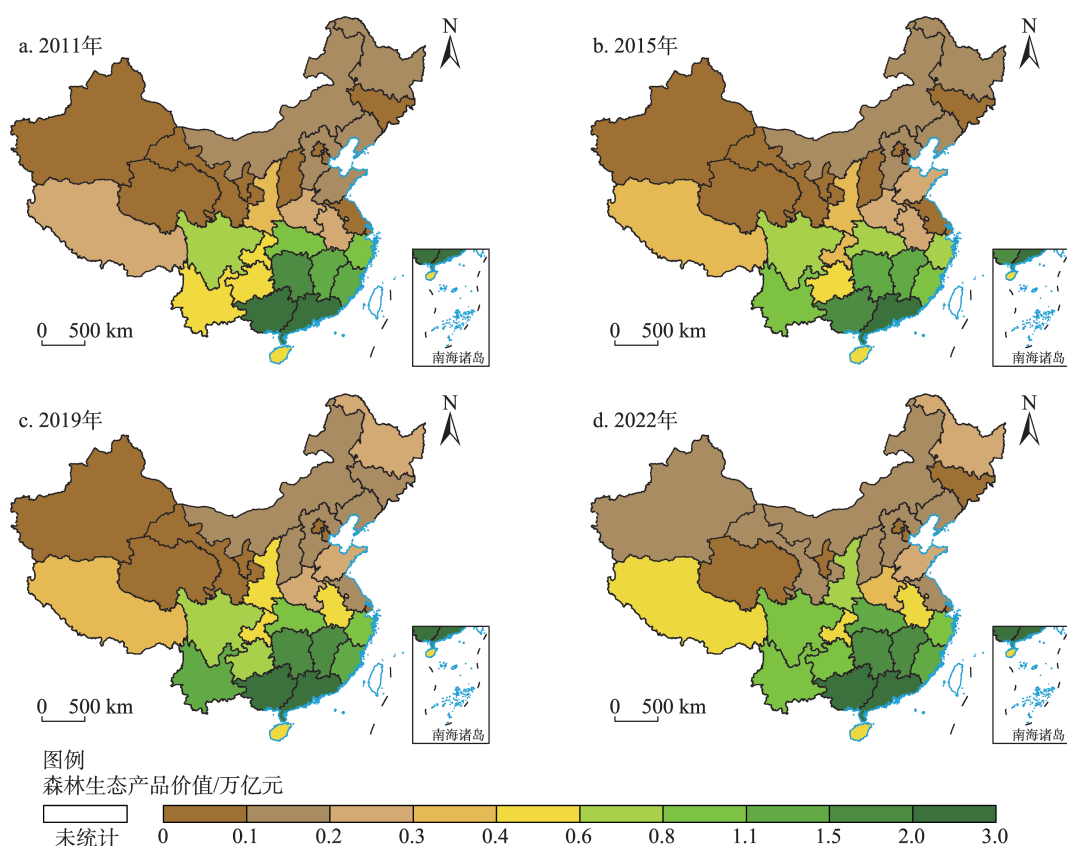


图4 2011、2015、2019、2022年中国省域森林生态产品价值空间分布

Figure 4 Spatial distribution of China's provincial forest ecological product value in 2011, 2015, 2019, and 2022

注:基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS2024(0650)号的标准地图制作,底图无修改。

值地区在地理上分别形成相对集中的块状分布。然而,全国森林生态产品价值空间分布格局虽然总体稳定,但随时间发展南北差异逐渐扩大;南方高价值区域逐步沿长江中下游、南方丘陵及西南东缘等毗邻区域扩展,生态优势地位进一步强化,这与其森林资源的可持续管理和生态保护政策的有效实施密切相关;相比之下,北方地区虽已采取绿化和植被恢复等措施,但受限于森林资源基础薄弱,短期内提升潜力相对有限。

从省级层面分析(图4),中国各省份森林生态产品价值差异显著。广西、广东、湖南和江西等省(区)长期位居全国前列,这主要归因于其较高的森林覆盖率和显著的生态服务功能优势,特别是气候调节功能。云南、四川等地虽整体处于中等水平,但近年来生态产品价值呈现增长趋势。相比之下,新疆、青海、甘肃、宁夏等西北干旱与半干旱地区,以及北京、天津、河北和山东等华北平原地区的森林生态产品价值显著偏低。可能源于西北地区气

候干旱、土地沙化面积大;华北平原地区降水量不足、耗水量较大,存在水资源限制,森林生态系统构建难度较高;同时,部分地区在农业扩张和城市化进程中存在一定程度的森林资源开发不当现象,进一步制约了地区森林生态产品价值提升。

从林区层面分析,图5展示了2011—2022年中国五大林区森林生态产品价值总量及3类生态产品(物质供给类、调节服务类、文化服务类)价值占比的演变趋势,揭示了不同林区间生态产品价值结构的差异性。

结合图5a可知,五大林区森林生态产品价值总量呈现出“南方林区>西南林区>华北林区>西北林区>东北林区”的空间分异格局。南方林区总价值在全国占据绝对优势,2011—2022年稳定在10.4万亿~14.9万亿元,对全国总量的贡献最大。西南林区凭借独特的地形条件和多样的植被类型,成为重要的生态屏障和高价值区域。两大林区生态产品价值持续增长,反映出珠江流域防护林体系、长江流

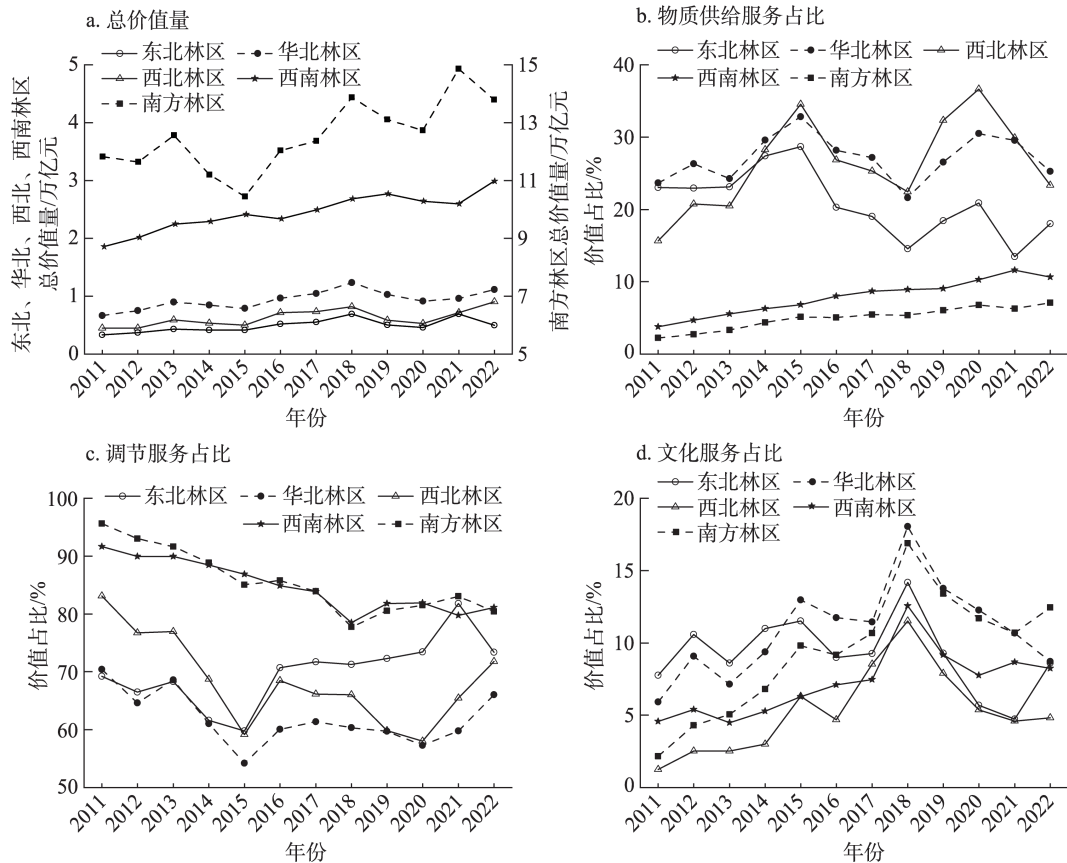


图5 2011—2022年五大林区生态产品价值总量及3类生态产品价值占比

Figure 5 Total ecological product value and value composition by three types of ecological products in five forest regions, 2011-2022

域防护林体系等重点生态工程建设的显著成效。华北林区森林资源有限,生态产品价值较低,其长期受高强度人类活动的干扰,大面积原始森林几乎消失<sup>[49]</sup>,尽管近年来通过防沙治沙工程和生态恢复措施取得了一定成效,但生态服务功能仍显不足。西北林区森林分布少,主要集中在山地和绿洲区域,生态功能以防风治沙为主,整体生态服务能力和价值水平较低,林分质量普遍较差,价值增长缓慢。东北林区作为中国重要的天然林和商品林基地,其历史上长期以木材采伐为主。国有林区改革前,森工企业无序采伐导致优质林木资源锐减,生物群落受到严重破坏,生态系统功能显著衰退。尽管2015年起停止了天然林商业性采伐,生态功能有所恢复;但林下资源的挖掘和利用仍不充分,制约着森林生态产品价值提升<sup>[50]</sup>。

结合图5b-5d可知,五大林区在物质供给、调节服务与文化服务3类生态产品价值构成上存在显著区域差异,体现了自然禀赋、空间功能定位及政策

导向等多重因素共同作用下的资源利用模式分化。华北、东北和西北林区物质供给类产品占比相较于其他林区较高,体现出经济林、林下资源等在其生态产品供给结构中的重要地位。西南和南方林区以调节服务为主,凸显其在水源涵养、气候调节等方面的核心功能,构筑了支撑我国南方生态安全的绿色屏障。近年来,南方和华北林区文化服务类产品占比上升,显示出其在生态旅游开发和人居环境改善方面的潜力。

### 3.2 森林生态产品价值实现效率评估

#### 3.2.1 基于静态测度的森林生态产品价值实现效率

从时序趋势来看,2011—2022年中国森林生态产品价值实现效率总体呈现稳步上升趋势,从2011年的0.397增长至2022年的0.984,整体增幅为147.86%(图6),这一时序特征反映了在生态文明建设和绿色发展政策不断深化的背景下,我国森林生态产品价值正逐步得到更为有效地实现。生态补偿机制的不断完善、绿色产业的蓬勃发展以及相关

2026年4月

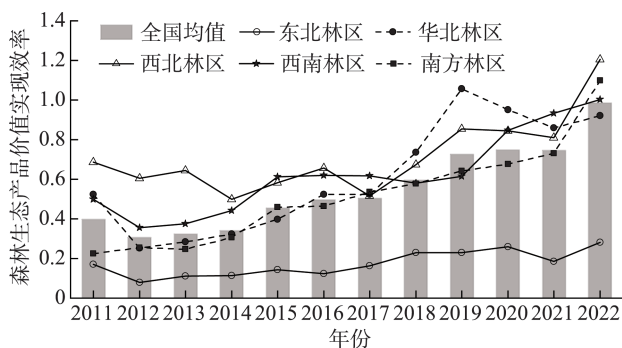


图6 2011—2022年全国及各林区森林生态产品价值实现效率

Figure 6 Realization efficiency of forest ecological product value in China and different forest regions, 2011-2022

政策的深入实施均对效率提升发挥了关键推动作用。值得注意的是,2021年价值实现效率出现轻微回落,可能与新冠疫情冲击下林业生产、生态工程实施及资源管理活动受阻有关,从而导致短期内森林生态产品价值实现效率下降。

从空间分布来看,首先,基于省级层面分析(图7),森林生态产品价值实现效率呈现出空间集聚和效率趋同的特征,省级区域间差异逐步缩小。低效率地区2011年数量最多,为5个省份,2022年减少至1个省份;高效率区域不断扩展,由2011年的4个省份增加到2022年的13个省份。宁夏、广西两个省份的森林生态产品价值实现效率等级4年均一致,除贵州、云南、河北等少数省份在个别年份出现效率退步外,大部分省份的价值实现效率均逐步提高。其次,基于林区层面分析(图6),西北林区、华北林区的价值实现效率较高,且有一定幅度波动;南方林区和西南林区总体呈现较强增长态势;东北林区则长期处于较低水平。值得注意的是,西北林区森林生态产品价值总量虽相对较低,但其价值实现效率却长期高于其他林区,这一“低存量、高效率”的特征可能与“西部大开发”战略与“绿色丝绸之路”倡议的实施密切相关,这些政策为西北林区

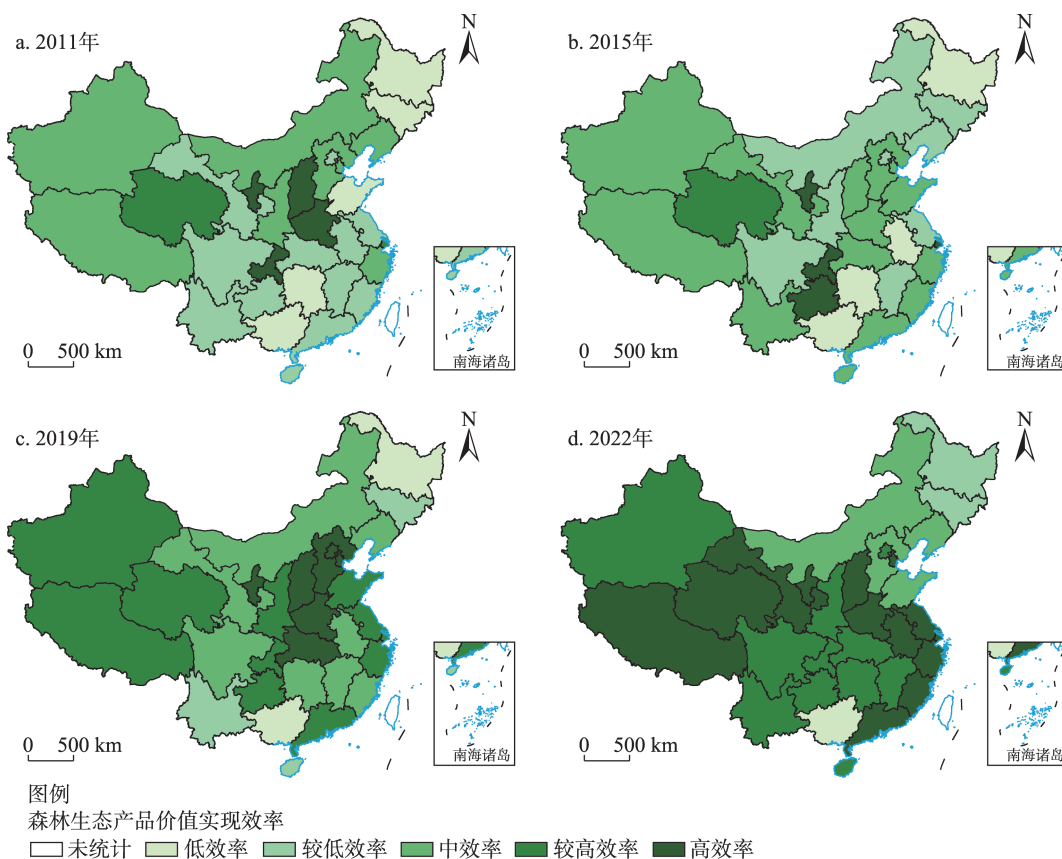


图7 2011、2015、2019、2022年中国省域森林生态产品价值实现效率

Figure 7 Provincial realization efficiency of forest ecological product value in China in 2011, 2015, 2019, and 2022

注:基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS2024(0650)号的标准地图制作,底图无修改。

引入了大量基础设施和产业投资,促进了森林生态产品交易等相关绿色产业的发展<sup>[51]</sup>,进而提升了其生态产品价值转化能力。相比之下,东北林区的价值总量及实现效率相较于其他林区均稍显逊色,这可能与东北林区经济结构较为单一,主要依赖传统的木材和森林资源产业、缺乏有效的产业升级和多元化发展有关<sup>[52]</sup>。一方面,该地区面临着政策限制和生态保护要求压力,传统林业产业受到较大程度制约;另一方面,生态产业和高附加值产业发展相对滞后,导致林区整体转型速度相对缓慢,进而影响了其生态产品价值的提升与转化。

### 3.2.2 基于动态测度的森林生态产品价值实现效率

各省(市、区)森林生态产品价值实现效率变化指数(*GML*)、技术效率指数(*GEC*)和技术进步指数(*GTC*)的多年平均值如表2所示。从全国整体来看,*GML*指数均值大于1,表明森林生态产品价值实现效率总体呈现效率提升趋势,且技术进步是推动效率提升的主要动力( $GML = 1.217$ ,  $GEC = 1.144$ ,  $GTC = 1.219$ )。这一结果反映出,国家层面在林业科技创新等方面取得了显著成效,技术进步正成为驱动森林生态产品价值实现的核心动力。

分省份来看,技术进步指数(*GTC*)均值均大于1,并且江苏、山东、广西、海南等省份相对较大,说

明这些地区的技术创新和进步在森林生态产品价值实现效率提升中起到了关键作用;而山西、吉林、黑龙江、重庆、青海等省(市)的技术进步指数均值则相对较低,说明这些地区需以提高技术进步为主,以推动技术创新和突破来提升价值实现效率。与技术进步相对,技术效率指数(*GEC*)反映了各省份在现有资源和技术条件下的资源利用效率水平,较高的技术效率意味着在相同资源下森林生态产品的生产和利用水平较高。内蒙古、吉林、黑龙江、湖北、海南、贵州等省(区)技术效率指数均值较高,这可能得益于这些地区在森林资源配置方面的成熟体系以及严格的生态保护措施;而辽宁、山东、河南、重庆、青海、宁夏6个省(市、区)的技术效率指数均值低于1,说明这些地区的技术效率均出现了一定程度的退化,需以提升技术效率为主,采取相应措施,提升价值实现效率。

## 4 结论与政策建议

### 4.1 结论

本文利用GEP核算方法对中国31个省(区、市)2011—2022年森林生态产品价值进行量化分析,继而,运用基于非期望产出的超效率SBM模型评估森林生态产品价值实现效率,并运用*GML*指数及其分解指数从动态视角探讨效率变化情况,探明了森

表2 2011—2022年各省份森林生态产品价值实现效率变化指数及其分解指数均值

Table 2 Mean values of forest ecological product value realization efficiency change index and its decomposed indices for each province, 2011-2022

省份	<i>GML</i>	<i>GEC</i>	<i>GTC</i>	省份	<i>GML</i>	<i>GEC</i>	<i>GTC</i>
北京	1.253	1.002	1.281	湖北	1.215	1.384	1.278
天津	1.163	1.031	1.133	湖南	1.345	1.211	1.286
河北	1.184	1.140	1.179	广东	1.241	1.040	1.252
山西	1.137	1.126	1.056	广西	1.361	1.104	1.642
内蒙古	1.144	1.409	1.164	海南	1.306	1.437	1.513
辽宁	1.061	0.955	1.208	重庆	1.038	0.992	1.030
吉林	1.337	1.654	1.054	四川	1.156	1.171	1.206
黑龙江	1.200	1.374	1.032	贵州	1.280	1.434	1.115
上海	1.105	1.003	1.105	云南	1.207	1.043	1.212
江苏	1.567	1.017	1.529	西藏	1.218	1.042	1.186
浙江	1.209	1.006	1.201	陕西	1.275	1.001	1.294
安徽	1.292	1.259	1.186	甘肃	1.305	1.178	1.253
福建	1.239	1.046	1.186	青海	1.071	0.979	1.077
江西	1.240	1.324	1.157	宁夏	1.049	0.984	1.088
山东	1.207	0.936	1.422	新疆	1.230	1.201	1.365
河南	1.089	0.977	1.101	全国均值	1.217	1.144	1.219

2026年4月

林生态产品价值及其实现效率的时序演变、空间分布、区域差异及其潜在原因。主要研究结论如下:

(1)中国森林生态产品价值呈现总量持续增长、结构演进显著和区域差异突出的总体特征。从时序演进来看,2011—2022年森林生态产品价值整体呈上升趋势,价值构成总体表现为“调节服务类最高、文化服务类次之、物质供给类最小”。从空间分布来看,森林生态产品价值具有明显空间非均衡性,整体呈“南高北低”分布格局,高、低价值区分别形成相对集中的块状分布。五大林区价值总量差异显著,表现为“南方林区>西南林区>华北林区>西北林区>东北林区”,且不同林区在生态产品价值类型构成上存在明显差异。

(2)森林生态产品价值实现效率稳步提升,空间分布趋于集聚。从时序演进来看,2011—2022年价值实现效率整体呈稳步上升趋势。从空间分布来看,价值实现效率呈现较强的空间集聚和效率趋同的特征,区域差异逐步缩小,高效率区域持续扩展。分林区看,西北林区和华北林区效率水平较高,东北林区相对较低。森林生态产品价值实现效率变化指数呈上升趋势,且对多数省份而言,技术进步是推动效率提升的主要动力。

#### 4.2 政策建议

基于五大林区森林生态产品价值总量及其实现效率的时空演化特征,提出以下政策建议:

(1)针对东北林区价值总量与实现效率“双低”的现状,应以产业结构转型和生态系统质量提升为关键。在商品林采伐受限、天然林全面禁伐背景下,需加快构建非木材型林业发展路径,如发展林下养殖、中药材种植等林下经济产业,增强森林生态产品供给广度与深度。同时,针对森林退化严重、林分结构单一、生物多样性低等问题,加大退化林地修复与湿地恢复力度,优化林种结构与空间布局,逐步提升森林生态系统稳定性与调节服务功能。

(2)华北林区生态服务功能压力较大,价值实现效率波动明显,需以生态修复与新兴生态业态协同推进为突破口。通过持续推进退耕还林、封山育林与人工林质量提升等生态工程,重点修复退化林地、沙化区域和水源涵养区,增强森林生态系统稳定性与服务供给能力。同时,结合京津冀城市群生

态安全格局定位,统筹林区生态功能提升与城市生态服务需求对接,推动构建跨区域生态产品供需机制与绿色产业协同发展体系。

(3)针对西北林区森林生态产品价值实现效率高而生态产品供给基础薄弱的矛盾,应从扩大总量入手,推动“量效并重”发展。首先,通过荒漠化地区生态系统重建等工程,持续提升森林质量,拓展生态产品供给总量,夯实生态经济发展基础。其次,依托现有高效转化优势,因地制宜发展生态旅游、治沙经济、光伏林业融合等特色产业,探索“生态+产业”协同发展新模式,以此促进西北林区从“效率优先”向“量效并举”转型。

(4)基于西南林区生态潜力大,生态产品价值及实现效率增势稳定的优势,应着力优化森林资源配置、推进资源高附加值利用。在资源端,依托区域丰富的森林资源与生物多样性优势,科学调整林地结构,提升生态系统综合服务能力;在产业端,重点培育林业碳汇、林下经济、森林康养等生态产业,通过产业融合创新拓展生态产品价值链;在市场端,强化品牌建设和数字化营销应用,提升森林生态产品市场辨识度与交易效率,促进生态产品供给与市场转化高效衔接。

(5)针对南方林区价值总量与实现效率“双高”的特征,需以深化制度创新为抓手,构建高效可持续发展格局。一方面,在巩固生态资源基础的同时,深化产权制度改革与要素市场机制建设,完善林权交易平台与绿色金融支持体系,优化资本、技术、劳动力等要素配置效率;另一方面,推动智慧林业建设,借助数字化手段加强生态产品动态监测与精准评估,提升产品精细化管理与定价能力,以科技创新与制度创新双轮驱动,促进生态优势向高质量生态经济优势高效转化。

#### 参考文献(References):

- [1] 新华社. 我国森林覆盖率已超过25%[EB/OL]. (2024-11-24) [2024-11-26]. [https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202411/content\\_6989076.htm](https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202411/content_6989076.htm). [The Xinhua News Agency. China's Forest Coverage Rate has Exceeded 25%[EB/OL]. (2024-11-24) [2024-11-26]. [https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202411/content\\_6989076.htm](https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202411/content_6989076.htm).]
- [2] 窦亚权, 杨琛, 赵晓迪, 等. 森林生态产品价值实现的理论与路径选择[J]. 林业科学, 2022, 58(7): 1-11. [Dou Y Q, Yang C, Zhao

- X D, et al. Theory of and approach to realizing the value of forest ecological products[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2022, 58(7): 1-11.]
- [3] 刘桂环, 文一惠, 华妍妍, 等. 森林生态产品第四产业发展逻辑与实践路径[J]. *环境保护*, 2024, 52(Z5): 38-45. [Liu G H, Wen Y H, Hua Y Y, et al. Development logic and practical paths of the quaternary industry for forest ecological products[J]. *Environmental Protection*, 2024, 52(Z5): 38-45.]
- [4] 宋昌素, 欧阳志云. 生态产品总值(GEP)理论内涵与应用实践[J]. *人民论坛·学术前沿*, 2023, (18): 92-95. [Song C S, Ouyang Z Y. Theoretical connotation and application practice of gross ecosystem product (GEP)[J]. *Frontiers*, 2023, (18): 92-95.]
- [5] 石敏俊, 陈岭楠, 王金南. 生态产品第四产业的概念辨析与核算框架[J]. *自然资源学报*, 2023, 38(7): 1784-1796. [Shi M J, Chen L N, Wang J N. Analysis on concept and accounting framework of the quaternary industry of ecological products[J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(7): 1784-1796.]
- [6] Li M J. Carbon stock and sink economic values of forest ecosystem in the forest industry region of Heilongjiang Province, China[J]. *Journal of Forestry Research*, 2022, 33(3): 875-882.
- [7] Meng N, Zhang Y, Xiao H. Research on accounting for the value of forest ecological products in Qilian Mountain national park in Gansu Province[J]. *Ecological Modelling*, 2025, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2024.110984.
- [8] 吴联杯, 许丁, 刘秉瑞, 等. 森林生态产品及其价值核算: 以北京市J林场为例[J]. *干旱区资源与环境*, 2024, 38(4): 181-190. [Wu L B, Xu D, Liu B R, et al. Forest ecological products and their value accounting: A case study of J Forest Farm in Beijing[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2024, 38(4): 181-190.]
- [9] 谢贤胜, 陈绍志, 赵荣. 生态产品价值实现的实践逻辑: 基于自然资源领域87个典型案例的扎根理论研究[J]. *自然资源学报*, 2023, 38(10): 2504-2522. [Xie X S, Chen S Z, Zhao R. The practical logic of ecological product value realization: A study of grounded theory based on 87 typical cases in the field of natural resources [J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(10): 2504-2522.]
- [10] 王晓圆, 胡如梅. 基于复杂性视角的生态产品价值实现理论辨析与治理路径[J]. *经济体制改革*, 2025, (2): 182-190. [Wang X Y, Hu R M. Theoretical analysis and governance path of realizing the value of ecological products from the perspective of complexity [J]. *Reform of Economic System*, 2025, (2): 182-190.]
- [11] 段国凯, 梁流涛, 高攀, 等. 基于供需融合视角的生态产品价值实现路径[J]. *自然资源学报*, 2024, 39(12): 2946-2961. [Duan Y K, Liang L T, Gao P, et al. Research on the realization path of ecological product value based on the perspective of supply and demand integration[J]. *Journal of Natural Resources*, 2024, 39(12): 2946-2961.]
- [12] 范琳. 山西省天然林保护工程综合效益评价[J]. *西北林学院学报*, 2019, 34(3): 265-272. [Fan L. Comprehensive benefit assessment of natural forests protection project in Shanxi Province[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2019, 34(3): 265-272.]
- [13] 岳上植. 森林社会效益核算[J]. *上海立信会计学院学报*, 2008, (6): 16-22. [Yue S Z. Social benefit accounting of forest[J]. *Accounting and Economics Research*, 2008, (6): 16-22.]
- [14] 袁晓玲, 郭一霖, 黄涛, 等. 碳汇银行: 碳汇生态产品价值实现路径的创新模式研究[J]. *当代经济科学*, 2023, 45(4): 59-71. [Yuan X L, Guo Y L, Huang T, et al. Carbon sink bank: Research on the innovative model of the value realization path of carbon sink ecological products[J]. *Modern Economic Science*, 2023, 45(4): 59-71.]
- [15] 詹琉璐, 杨建州. 我国森林生态产品价值实现效率研究: 基于投入产出分析框架[J]. *经济问题*, 2024, (8): 34-42. [Zhan L L, Yang J Z. The research on the efficiency of realizing the value of forest ecological products in China: Based on the input-output analysis framework[J]. *On Economic Problems*, 2024, (8): 34-42.]
- [16] 顾健, 窦亚权, 陈幸良, 等. 林下经济发展与森林生态产品价值实现: 理论逻辑与实践路径[J]. *世界林业研究*, 2024, 37(2): 8-14. [Gu J, Dou Y Q, Chen X L, et al. Non-timber forest-based economy development and forest ecological product value realization: Theoretical logic and practical paths[J]. *World Forestry Research*, 2024, 37(2): 8-14.]
- [17] 曹先磊, 任云鹤. 森林资源丰富度、生态产品价值实现与农村居民增收[J]. *中国农业大学学报*, 2024, 29(8): 34-49. [Cao X L, Ren Y H. Forest resource richness, value realization of ecological products and income increase of rural residents[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(8): 34-49.]
- [18] 林亦晴, 徐卫华, 李璞, 等. 生态产品价值实现率评价方法: 以丽水市为例[J]. *生态学报*, 2023, 43(1): 189-197. [Lin Y Q, Xu W H, Li P, et al. Assessing the realization of the values of ecosystem products: A case study of Lishui, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(1): 189-197.]
- [19] Lou J, Yang G L, Song L J, et al. From resources to capital: Investigating the efficiency of forest ecosystem products value realization in China[J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2024, DOI: 10.1016/j.seps.2024.102052.
- [20] 孔凡斌, 程文杰, 徐彩瑶. 数字经济发展能否提高森林生态产品价值转化效率: 基于浙江省丽水市的实证分析[J]. *中国农村经济*, 2023, (5): 163-184. [Kong F B, Cheng W J, Xu C Y. Does the development of digital economy improve the value transformation efficiency of forest ecological products: An empirical analysis in Lishui, Zhejiang Province[J]. *Chinese Rural Economy*, 2023, (5): 163-184.]
- [21] 吕靖焯, 吕佳琦. 森林碳汇的价值评估及实现路径: 基于碳资产和碳服务价值的双视角[J]. *四川农业大学学报*, 2025, 43(5): 1391-1400. [Lyu J Y, Lyu J Q. Value assessment and realization

2026年4月

- path of forest carbon sink: A dual perspective based on carbon asset and carbon service value[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2025, 43(5): 1391-1400.]
- [22] 黄显乔, 李敬焯, 吴家欣, 等. 提高森林生态产品价值实现效率的林业高质量发展评估: 以东北、内蒙古重点国有林区为例[J]. *林业科学*, 2025, 61(6): 209-223. [Huang X Q, Li J Y, Wu J X, et al. Evaluation of high-quality development in forestry for enhancing the value realization efficiency of forest ecological products: Based on the key state-owned forest regions in northeast China[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2025, 61(6): 209-223.]
- [23] Tian S Q, Wu W, Chen S F, et al. Regional differences in the contribution of drivers to carbon sequestration and oxygen release from global terrestrial ecosystems[J]. *Resources Conservation and Recycling*, 2024, DOI: 10.1016/j.resconrec.2024.107704.
- [24] Wang Q X, Cao W, Huang L. Evolution characteristics of ecosystem functional stability and ecosystem functional zoning on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2024, 33(11): 2193-2210.
- [25] Niu L N, Shao Q Q, Ning J, et al. Ecological changes and the trade-off and synergy of ecosystem services in western China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2022, 32(6): 1059-1075.
- [26] Mahdavi A, Ranjbar A M, Karami O. Economic valuation of water storage and soil conservation in Zagros forests: A case study of Kolm Watershed, Ilam[J]. *International Journal of Environmental Research*, 2025, DOI: 10.1007/s41742-025-00951-z.
- [27] Dai X H, Zheng H, Yang Y Z, et al. A new method to quantify the impacts of human activity on soil conservation service[J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.122257.
- [28] 赵明松, 李德成, 张甘霖. 1980-2010年间安徽省土壤侵蚀动态演变及预测[J]. *土壤*, 2016, 48(3): 588-596. [Zhao M S, Li D C, Zhang G L. Dynamic evolution and prediction of soil erosion in Anhui Province from 1980 to 2010[J]. *Soils*, 2016, 48(3): 588-596.]
- [29] 肖洋, 欧阳志云, 徐卫华, 等. 基于GIS重庆土壤侵蚀及土壤保持分析[J]. *生态学报*, 2015, 35(21): 7130-7138. [Xiao Y, Ouyang Z Y, Xu W H, et al. GIS-based spatial analysis of soil erosion and soil conservation in Chongqing, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(21): 7130-7138.]
- [30] 程翠云, 葛察忠, 杜艳春, 等. 浙江省衢州市绿金指数核算研究[J]. *生态学报*, 2019, 39(1): 37-44. [Cheng C Y, Ge C Z, Du Y C, et al. Green gold index accounting for Quzhou City in Zhejiang Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(1): 37-44.]
- [31] Yi C L, Zhao X Y, Feng Y J, et al. Regional climax forest has a better water conservation function than pine plantation: A comparative study in humid subtropical China[J]. *Catena*, 2024, DOI: 10.1016/j.catena.2024.107935.
- [32] 司今, 韩鹏, 赵春龙. 森林水源涵养价值核算方法评述与实例研究[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(12): 2100-2109. [Si J, Han P, Zhao C L. Review of water conservation value evaluation methods of forest and case study[J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(12): 2100-2109.]
- [33] Qiu C C, Ji J S, Bell M L. Effect modification of greenness on temperature-mortality relationship among older adults: A case-cross-over study in China[J]. *Environmental Research*, 2021, DOI: 10.1016/j.envres.2021.111112.
- [34] 林瑒焱, 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. [Lin Y Y, Xu X B. Spatiotemporal variations of gross ecosystem product and identification of important ecological protection spaces in the Yangtze River Delta[J]. *Resources Science*, 2022, 44(4): 847-859.]
- [35] 李同欣, 陈俊昊, 竹京玲, 等. 小尺度森林生态产品总值评估: 以泰顺县司前畲族镇为例[J]. *生态学报*, 2025, 45(3): 1406-1416. [Li T X, Chen J H, Zhu J L, et al. Evaluation of gross forest ecosystem product on small scale: Taking Siqian She Ethnic Town in Taishun County as an example[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2025, 45(3): 1406-1416.]
- [36] Chen W Y, Yu S H, Jiang X W, et al. Regional disparities and dynamic adaptation in the forest health-based industry and ecological environment: A case study of Fujian Province, China[J]. *Ecological Indicators*, 2025, DOI: 10.1016/j.ecolind.2025.113087.
- [37] Fang H H, Lee H S, Hwang S N, et al. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis: An alternative approach[J]. *Omega*, 2013, 41(4): 731-734.
- [38] 成刚. 数据包络分析方法与MaxDEA软件[M]. 北京: 知识产权出版社, 2014. [Cheng G. *Data Envelopment Analysis (DEA) Method and MaxDEA Software*[M]. Beijing: Intellectual Property Press, 2014.]
- [39] 余红红, 杨加猛. 我国森林生态效率测算及时空演变分析[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2023, 47(2): 167-177. [Yu H H, Yang J M. Estimation and spatio-temporal evolution on eco-efficiency of forest in China[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2023, 47(2): 167-177.]
- [40] Oh D. A global Malmquist-Luenberger productivity index[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2010, 34: 183-197.
- [41] 王倩, 曹玉昆. 中国林业投资产出效应和盈利效应的时变特征[J]. *统计与决策*, 2020, 36(4): 155-158. [Wang Q, Cao Y K. The temporal variation characteristics of investment output effect and profit effect in China's forestry[J]. *Statistics & Decision*, 2020, 36(4): 155-158.]
- [42] 黄敏捷, 曹兰芳, 何曦, 等. 中国林业第一产业全要素生产率动态演变特征与影响因素研究[J]. *生态经济*, 2025, 41(7): 133-144. [Huang M J, Cao L F, He X, et al. Study on dynamic evolution characteristics and driving factors of total factor productivity

- in China's forestry primary sector of the economy[J]. *Ecological Economy*, 2025, 41(7): 133-144.]
- [43] 尹君锋, 宋长青, 石培基, 等. 耦合视角下甘肃省县域乡村“三生”功能协调度的时空跃迁特征与影响因素[J]. *地理研究*, 2024, 43(4): 874-892. [Yin J F, Song C Q, Shi P J, et al. Spatial and temporal transition characteristics and influencing factors of “production-living-ecological” functions of rural areas at county level in Gansu Province from the perspective of coupling[J]. *Geographical Research*, 2024, 43(4): 874-892.]
- [44] 林丽波. 乡村振兴背景下内蒙古农业绿色发展评价及耦合协调分析[J]. *中国农业资源与区划*, 2023, 44(12): 21-31. [Lin L B. Evaluation and coupling coordination and analysis of agricultural green development in Inner Mongolia under the background of rural revitalization[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(12): 21-31.]
- [45] 姜雪梅, 牛志伟, 王会, 等. 林业生态建设与保护投资对林业产业发展的影响[J]. *生态经济*, 2023, 39(8): 112-121. [Jiang X M, Niu Z W, Wang H, et al. Influence of forestry ecological construction and protection investment on the development of forestry industry[J]. *Ecological Economy*, 2023, 39(8): 112-121.]
- [46] 张少鹏, 付瑶, 朱洪革, 等. 天然林资源保护政策对重点国有林区林业新质生产力的影响: 基于林业绿色全要素生产率视角[J]. *林业科学*, 2025, 61(6): 183-195. [Zhang S P, Fu Y, Zhu H G, et al. Impact of natural forest protection policies in key state-owned forest areas on the new quality productivity of forestry: Based on the perspective of forestry green total factor productivity [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2025, 61(6): 183-195.]
- [47] 杨旭, 屈志光, 邓远建. 中国省域林业生产技术效率的空间收敛性及分异特征[J]. *资源科学*, 2021, 43(10): 1947-1960. [Yang X, Qu Z G, Deng Y J. Spatial convergence and differentiation of forestry production technology efficiency in 30 provinces of China [J]. *Resources Science*, 2021, 43(10): 1947-1960.]
- [48] 方世巧, 卜晓维, 谢睿. 数字技术赋能林业和旅游业深度融合的机制研究[J]. *林业经济问题*, 2024, 44(5): 461-473. [Fang S Q, Bu X W, Xie R. The mechanism of digital technology enabling the deep integration of forestry and tourism[J]. *Issues of Forestry Economics*, 2024, 44(5): 461-473.]
- [49] 于贵瑞, 刘世荣. 中国森林生态系统质量与管理状况评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2022. [Yu G R, Liu S R. Assessment Report on the Quality and Management Status of Forest Ecosystems in China[M]. Beijing: Science Press, 2022.]
- [50] 姜洋, 曾玉敏, 王岩. 东北国有林区林下生态产品价值实现模式[J]. *林业经济问题*, 2023, 43(4): 351-358. [Jiang Y, Zeng Y M, Wang Y. The value realization model of understory ecological products in the state-owned forest areas of northeast China[J]. *Issues of Forestry Economics*, 2023, 43(4): 351-358.]
- [51] 宋冬林, 裴晓华. “十五五”时期我国区域发展战略的理论演进、现实动因和关键举措[J]. *当代经济研究*, 2026, (1): 10-17. [Song D L, Pei X H. The theoretical evolution, practical motivations, and key measures of China's regional development strategy during the “15th five-year plan” period[J]. *Contemporary Economic Research*, 2026, (1): 10-17.]
- [52] 朱洪革, 张宇彤, 曹博. 东北国有森工企业纾困: 实践与政策交织演变的逻辑与发展取向[J]. *世界林业研究*, 2024, 37(1): 9-15. [Zhu H G, Zhang Y T, Cao B. Alleviating the plight of state-owned forest enterprises in northeast China: The logic and development orientation of practices-policies intertwined evolution[J]. *World Forestry Research*, 2024, 37(1): 9-15.]

# Evaluation of value and realization efficiency of China's forest ecological products

PENG Hongjun<sup>1,2</sup>, XU Xiao<sup>1</sup>, WANG Ruiqi<sup>1</sup>, FENG Xin<sup>1</sup>

(1. College of Economics and Management, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Jinpu Research Institute, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** [Objective] This study aims to scientifically evaluate the value and realization efficiency of forest ecological products, thereby providing theoretical support for enhancing the practical effectiveness of the “lucid waters and lush mountains are invaluable assets” theory and promoting ecological civilization construction. [Methods] Taking 2011-2022 as the study period, this study systematically calculated the value of forest ecological products and its realization efficiency in 31 provinces of China by integrating high-resolution spatial data and statistical data. Using grid cells as the basic spatial unit for accounting, the value of forest ecological products in 31 provinces of China was obtained through zonal statistics based on provincial administrative divisions. Furthermore, the undesirable output super slacks-based measure (SBM) model and the global Malmquist-Luenberger index were used to conduct a comprehensive static and dynamic evaluation of the realization efficiency of forest ecological product value. [Results] (1) From 2011 to 2022, the value of China's forest ecological products showed a steady upward trend in temporal evolution, with the overall value structure characterized by a pattern of “regulating services > cultural services > material supply”. Spatially, the value distribution exhibited a gradient pattern of “high in the south and low in the north”. The total value of the five major forest regions presented a spatial differentiation pattern of “Southern China forest region > Southwest China forest region > North China forest region > Northwest China forest region > Northeast China forest region”. (2) From a static perspective, the realization efficiency of forest ecological product value increased steadily year by year from 2011 to 2022, exhibiting a trend of spatial agglomeration and efficiency convergence. The efficiency of the Northwest and North China forest regions was relatively high but fluctuated significantly, while that of the Southern and Southwest China forest regions increased continuously with stable growth. In contrast, the Northeast China forest region remained at a relatively low level for a long period. From a dynamic perspective, the efficiency change index showed an upward trend, with technological progress contributing significantly to efficiency improvement. [Conclusion] The value of forest ecological products and its realization efficiency in China are both in a state of disequilibrium, with spatial mismatches in their regional distribution. Therefore, efforts should focus on two core dimensions of expanding supply capacity and improving the value conversion mechanism. Meanwhile, it is necessary to implement differentiated forestry development strategies based on local conditions to promote the coordinated improvement of ecological, economic, and social benefits.

**Key words:** forest ecological products; GEP accounting; realization efficiency; SBM-GML model; spatiotemporal evolution