

DOI: 10.20103/j.stxb.202405020989

李同欣, 陈俊昊, 竹京玲, 曾鹿敏, 严一博, 胡澳, 王懿祥. 小尺度森林生态产品总值评估——以泰顺县司前畲族镇为例. 生态学报, 2025, 45(3): 1406-1416.

Li T X, Chen J H, Zhu J L, Zeng L M, Yan Y B, Hu A, Wang Y X. Evaluation of gross forest ecosystem product on small scale: taking Siqian she ethnic town in Taishun county as an example. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(3): 1406-1416.

小尺度森林生态产品总值评估 ——以泰顺县司前畲族镇为例

李同欣^{1,2,3}, 陈俊昊^{1,2,3}, 竹京玲^{1,2,3}, 曾鹿敏^{1,2,3}, 严一博^{1,2,3}, 胡 澳^{1,2,3}, 王懿祥^{1,2,3,*}

1 浙江农林大学环境与资源学院, 杭州 311300

2 省部共建亚热带森林培育国家重点实验室, 杭州 311300

3 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 杭州 311300

摘要: 对小尺度森林生态产品总值进行精细评估, 能够揭示不同森林生态系统之间的生态服务价值差异, 有利于特定地段的森林生态产品价值转化。以浙江省温州市泰顺县司前畲族镇为试点区域, 在浙江省《生态系统生产总值 (GEP) 核算技术规范陆域生态系统》标准的核算框架和指标体系的基础上, 提出了小班尺度的水源涵养、土壤保持、洪水调蓄、气候调节、固碳释氧等核算方法, 收集了森林资源一张图、气象、空气质量、水质监测等数据, 基于 GIS 技术以小班为核算空间单元, 利用林分信息开展森林生态产品价值评估。结果显示, 2021 年司前畲族镇的森林生态产品总值为 36.58 亿元, 平均价值为 20.86 万元/hm²。其中生态系统调节服务价值最大, 占总价值的 97.6%, 供给产品和文化服务价值相对较低。生态产品价值表现为气候调节>土壤保持>洪水调蓄>水源涵养>直接供给产品>固碳释氧>生态旅游>水环境净化>空气净化, 评估结果显示了司前畲族镇森林生态产品的数量和质量, 生态服务价值可观, 为当地政府进行生态补偿和“两山”转化提供参考依据。

关键词: 生态产品价值; GEP 核算; 小班; 森林质量

Evaluation of gross forest ecosystem product on small scale: taking Siqian she ethnic town in Taishun county as an example

LI Tongxin^{1,2,3}, CHEN Junhao^{1,2,3}, ZHU Jingling^{1,2,3}, ZENG Lumin^{1,2,3}, YAN Yibo^{1,2,3}, HU Ao^{1,2,3}, WANG Yixiang^{1,2,3,*}

1 College of Environment and Resources, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Hangzhou 311300, China

2 State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Hangzhou 311300, China

3 Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Hangzhou 311300, China

Abstract: Fine evaluation of gross forest ecosystem product on small scale can reveal the differences in ecological service values between different forest ecosystems, which is beneficial for the value transformation of forest ecological products in specific areas. This study takes Siqian She Ethnic Town, Taishun County, Wenzhou City, Zhejiang Province as a pilot area. Based on the accounting framework and indicator system of the “Technical Specification for Gross Ecosystem Product (GEP) Accounting of Terrestrial Ecosystems” standard in Zhejiang Province, it proposes accounting methods for water conservation, soil conservation, flood regulation, climate regulation, carbon sequestration and oxygen release at the scale of forest stand sub classes. A multi department joint data collection mechanism is constructed, and a forest resource map, meteorological, air quality, water quality monitoring data, and other data are collected. Based on GIS technology, forest stand sub classes are used as accounting spatial units to evaluate the value of forest ecological products using forest stand

基金项目: “十四五”国家重点研发计划 (2022YFD2200504)

收稿日期: 2024-05-02; 网络出版日期: 2024-10-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangyixiang@zafu.edu.cn

information. The results show that the total value of forest ecological products in Siqian She Ethnic Town in 2021 was 3.658 billion yuan, with an average value of 208600 yuan/hm². The value of ecosystem regulation services is the highest, accounting for 97.6% of the total value, while the value of supply products and cultural services is relatively low. The value of ecological products is manifested as climate regulation>soil conservation>flood regulation and storage>water source conservation>direct supply products>carbon sequestration and oxygen release>ecotourism>water environment purification>air purification. The evaluation results show that Siqian She Ethnic Town boasts a significant quantity and quality of forest ecological products, along with substantial ecological service value. These findings offer a solid foundation for local governments to implement ecological compensation measures and advance the 'two mountains' transformation strategy.

Key Words: ecological product value; GEP accounting; small class; forest quality

生态产品是在不损害生态系统稳定性和完整性前提下,生态系统为人类提供的物质产品和服务产品,以及源于生态系统结构和过程的文化服务^[1]。生态产品总值(GEP)是指在一定区域一定时间范围内生态系统为人类福祉和经济社会可持续发展提供的各种最终物质产品与服务价值的总和,主要包括生态系统提供的物质产品、调节服务和文化服务价值^[2]。森林作为陆地生态系统中面积最大、组成结构最复杂、生物种类最丰富、功能最完善的生态系统,不仅能够为人类提供木材、果品、油料等物质产品,还能提供气候调节、水源涵养、土壤保持等无形产品以及文化服务类产品。开展森林生态产品价值核算,有助于将森林生态产品进行定量化和定性化,也可以为金融支持生态产品价值实现提供新的技术支撑^[3]。

森林生态产品价值的核算源于生态系统服务价值评估,目前已形成了阶段性理论框架^[4]。生态系统服务价值早期研究主要集中在维持生物化学循环、维持物种多样性、净化大气、维持化学平衡和提供物质产品等^[5-9]。2013年我国首次提出生态系统生产总值(GEP)概念与核算体系,并先后发布了《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721—2008)、《生态系统生产总值(GEP)核算技术规范陆域生态系统》^[10-11]等评估/核算标准。近年来,专家学者对不同空间尺度下的生态系统服务功能和价值进行评估,大多数是针对全国尺度^[12-13]、省域^[14]、市域^[15-16]、县域^[17-18]等大中尺度区域,对于乡镇域小尺度的估算案例很少。生态系统服务价值是国际通用的概念,也是其他相关概念的本源,而生态产品价值是“生态系统服务价值”在我国本土化之后产生的一个新概念。单从定义上来看,生态系统服务价值等于生态产品价值,但是不同的核算规范就要求我们采用不同的核算科目和核算方法去进行量化评估。由于受到地域条件、尺度范围、数据来源和研究方法的限制,多数生态产品价值评估研究核算单元过大,未能反映不同地块之间森林生态系统的质量差异性。

本文以典型山区乡镇为研究对象,利用现有的森林生态系统服务价值核算体系框架及评估方法,以乡镇为尺度,以森林小班为核算空间单元来进行森林生态产品总值核算,分析乡镇供给产品、调节服务产品和文化服务产品三类产品价值的结构,探究小尺度森林生态产品总值评估方法。

1 研究区概况

司前畲族镇,地处浙江省温州市泰顺县北部,27°40'0" N,119°47'5" E(图1)。地形属低中山区高丘山地地貌,地处飞云江源头,是重要生态功能区和珊溪水库水源涵养区境内峰峦叠嶂。气候属亚热带季风气候,四季分明。年平均气温 15℃,年降水量为约 1700 mm。土壤多为黄泥土、黄泥沙土。该镇森林面积为 17538 hm²,其覆盖率高达 88.0%。其中,乔木林面积最大(75.7%),竹林次之(21.1%),见图1。

2 研究方法

2.1 数据收集

对泰顺县司前畲族镇开展 2021 年森林生态产品价值核算。泰顺县自然资源和规划局提供 2020 年和 2021 年森林资源年度更新数据(含森林资源一张图)、DEM 和卫星遥感影像等;泰顺县文化和广电旅游体育

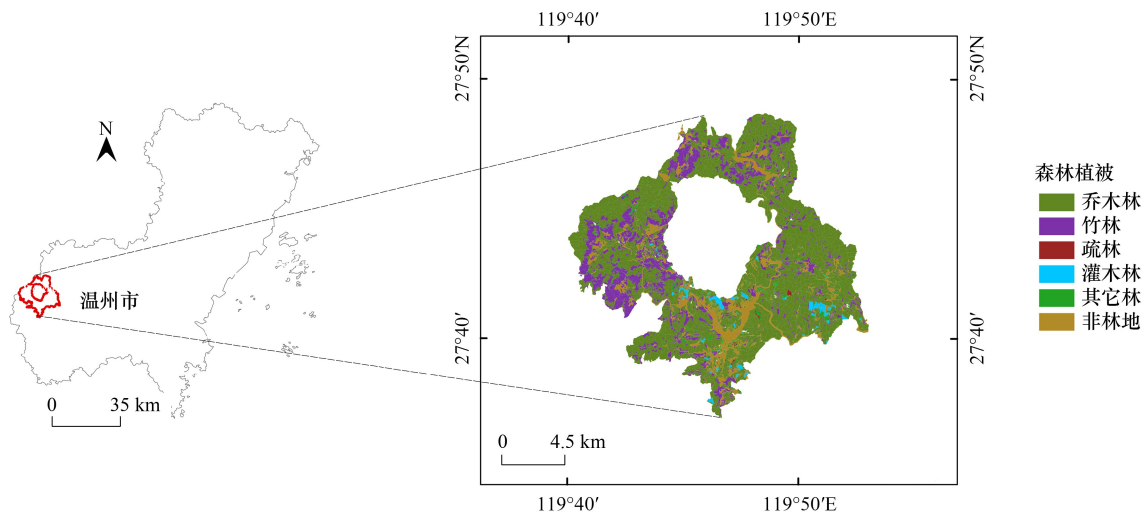


图 1 司前畲族镇地理位置及森林生态系统分布情况

Fig.1 Geographical Location and Forest Ecosystem Distribution of Siqian She Ethnic Town

局提供旅游收入数据;泰顺县气象局提供 2011—2021 年近 10 年的气象数据(包括温度、湿度、降水量等);温州市生态环境局泰顺分局提供空气质量数据(二氧化硫、氮氧化物、臭氧、PM_{2.5}等空气污染物)和水质检测数据(COD、BOD₅、氨氮、总磷等水体污染物);司前畲族镇政府提供林产品产量、价格等数据;

生态产品价格数据则根据浙江省《生态系统生产总值(GEP)核算技术规范陆域生态系统》(DB33/T 2274—2020)^[11]中相应指标价格要求;碳汇的单位价格根据浙江省首批浙林碳汇项目减排量交易单价 100 元/t 计取。

2.2 核算思路与指标体系

根据《生态系统生产总值(GEP)核算技术规范陆域生态系统》(DB33/T 2274—2020)^[11],确定泰顺县司前畲族镇森林生态产品核算指标体系。其中,指标体系共有 3 大类,分别为供给产品、调节服务和文化服务,如图 2 所示。本文在已有的理论基础上,结合司前畲族镇的森林资源状况,核算直接供给、土壤保持、水源涵养、空气净化、水环境净化、洪水调蓄、气候调节、固碳释氧和生态旅游等生态产品。其中,直接供给产品和生态旅游以乡镇为核算单元;水环境净化和空气净化是以乡镇为核算单元,然后根据小班面积进行分配;而水源涵养、土壤保持、洪水调蓄、气候调节、固碳与释氧等生态产品以小班为基本核算空间单元,利用小班的测树因子信息开展小班级核算,最终由各个小班汇总到乡镇。具体核算思路如下:

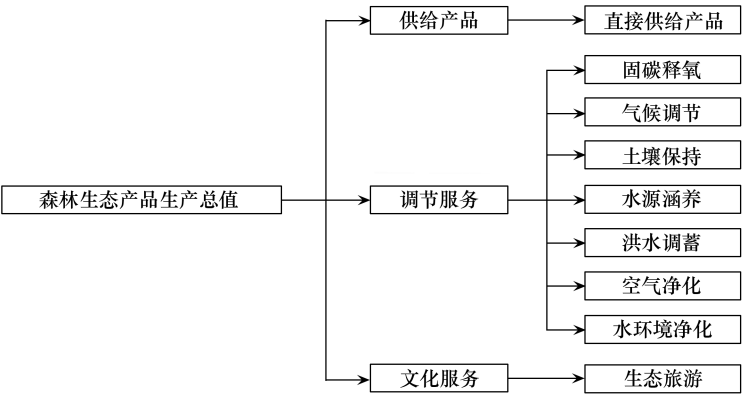


图 2 泰顺县司前畲族镇森林生态产品指标体系

Fig.2 Index system of forest ecological products in siqian she ethnic town, taishun county

①确定核算地域范围与单元。以泰顺县司前畲族镇 17538 hm²森林为核算范围,进行影像图核验后,依据林地类型、优势树种、地形地貌属性等因子划分的 4905 个小班为基本核算空间单元;②编制生态产品清单。明确供给产品、调节服务、文化服务三大类具体生态产品;③核算生态产品功能量(实物量)。根据各相关管理部门提供的数据资料,核算森林生态系统不同类别生态产品的功能量;④确定生态产品价格。依据市场价价值法、替代成本法、影子工程法等明确不同类别森林生态产品价格;⑤核算生态产品总价值。用上述不同类别生态产品功能量乘以相应生态产品价格得到不同类别生态产品价值,汇总完成泰顺县司前畲族镇森林生态产品总值的核算。

2.3 数据预处理

①基于 ArcGIS 10.8 软件对降水量和蒸发量等气象数据进行克里金插值处理;②对森林资源一张图图层中的信息进行提取,主要包括:地类、面积、坡度、优势树种、树种组成、龄组、郁闭度、蓄积、平均胸径、株数等;③将 DEM 与森林资源一张图图层叠加进行坡长的计算。

2.4 模型方法

2.4.1 直接利用供给产品核算方法

①直接供给产品功能量核算方法如下:

$$Y_f = \sum_{i=1}^n Y_{fi}$$

Y_f 为供给产品总产量; Y_{fi} 为*i*类供给产品产量,如竹材、木材(杉木等)、经济果品等; n 为森林生态系统直接供给产品种类数量。各类供给产品产量均由司前畲族镇政府提供。

②直接供给产品价值量核算方法如下:

$$V_m = \sum_{i=1}^n (Y_{fi} \times P_i \times \theta - G_i)$$

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; P_i 为第*i*类直接利用供给产品的价格; θ 为溢价系数,默认值为 1; G_i 为第*i*类供给产品人工成本(元/a); n 为森林生态系统直接供给产品的种类数量。各类供给产品价格均由司前畲族镇政府提供。

2.4.2 水源涵养核算方法

①水源涵养功能量核算按下式

$$Q_w = \sum_{i=1}^n A_i \times (U_i - E_i - T_i) \times 10^{-3}$$

Q_w 为水源涵养功能量(m³/a); A_i 为第*i*个小班的面积(m²); U_i 为第*i*个小班的年产流降水量(mm/a); E_i 为第*i*个小班的年地表径流量(mm/a); T_i 为第*i*个小班年度蒸发量(mm/a); n 为林地范围内的小班数量。其中年产流降水量和年度蒸发量由泰顺县气象局提供。年地表径流量需要基于平均地表径流系数来测算,不同的林分类型有着不同的地表径流系数^[19]。

②水源涵养价值量核算按下式

$$V_w = Q_w \times F \times \delta$$

V_w 为水源涵养价值量(元/a); Q_w 为水源涵养功能量(m³/a); F 为水的价格(元/m³); δ 为溢价系数,默认值为 1。

2.4.3 土壤保持核算方法

①土壤保持功能量核算公式:

$$Q_{sr} = \sum_{i=1}^n R_i \times K_i \times L_i \times S_i \times (1 - C_i) \times A_i$$

Q_{sr} 为土壤保持总量(t/a); R_i 为第*i*个小班的降雨侵蚀力因子(MJ mm hm⁻² h⁻¹ a⁻¹); K_i 为第*i*个小班的土壤可蚀性因子(t hm² h hm⁻² MJ⁻¹ mm⁻¹); L_i 为第*i*个小班的坡长因子; S_i 为第*i*个小班的坡度因子; C_i 为第*i*个

小班的植被覆盖因子; A_i 为第*i*个小班的面积(hm^2); n 为林地范围内的小班数量。

②土壤保持价值量核算公式:

$$V_{sr} = (Q_{sr}/\rho) \times C$$

V_{sr} 为土壤保持总价值(元/a); Q_{sr} 为土壤保持总量(t/a); ρ 为土壤容重(t/m^3); C 为水库单位库容清淤工程费用(元/m^3)。

2.4.4 洪水调蓄核算方法

①洪水调蓄功能量核算公式:

$$C_f = \sum_{i=1}^n (U_i - R_i) \times A_i \times 10^3$$

C_f 为洪水调蓄功能量(m^3/a); U_i 为第*i*个小班年度暴雨量(mm/a); R_i 为第*i*个小班年度暴雨径流量(mm/a); A_i 为第*i*个小班的面积(km^2); n 为林地范围内小班数量。其中年度暴雨量由泰顺县气象局提供;暴雨径流量需要借助平均地表径流系数来测算^[19]。

②洪水调蓄价值量核算公式:

$$V_f = C_f \times (C_e + C_o)$$

V_f 为洪水调蓄总价值(元/a); C_f 为洪水调蓄总量(m^3/a); C_e 为水库单位库容的工程造价(元/m^3); C_o 为水库单位库容的运营成本(元/m^3)。

2.4.5 水环境净化核算方法

①水环境净化功能量核算公式:

$$W_p = \sum_{i=1}^n [(W_{ei} + W_{ai}) - (W_{di} + W_{si})]$$

W_p 为水域污染净化总量(t/a); W_{ei} 为第*i*类污染物入境量(t/a); W_{ai} 为第*i*类污染物排放总量(t/a); W_{di} 为第*i*类污染物出境量(t/a); W_{si} 为污水处理厂处理第*i*类污染物的量(t/a); n 为森林生态系统水域污染类型的数量。其中各类污染物入境量、污染物出境量、污染物排放总量、经过污水处理厂处理的各类污染物的量均由泰顺县生态环境局提供。

②水环境净化价值量核算公式:

$$V_p = \sum_{i=1}^n W_{pi} \times F_i$$

V_p 为水环境净化价值量(元/a); W_{pi} 为第*i*类水域污染的净化量(t/a); F_i 为第*i*类水域污染防治成本(元/t); n 为森林生态系统水域污染类型的数量。

2.4.6 空气净化核算方法

①空气净化功能量核算按下式

$$M_a = \sum_{i=1}^n M_i$$

M_a 为空气污染物净化总量(t/a); M_i 为第*i*类空气污染物排放量(t/a); n 为空气污染物类型的数量。各类空气污染物排放量由泰顺县生态环境局提供。

②空气净化价值量核算按下式

$$V_a = \sum_{i=1}^n M_{ai} \times F_i$$

V_a 为空气净化价值量(元/a); M_{ai} 为第*i*种空气污染物的净化量(t/a); F_i 为第*i*类空气污染防治成本(元/t); n 为空气污染物类型的数量。

2.4.7 气候调节核算方法

①气候调节功能量核算按下式

$$E_u = \sum_{i=1}^n \text{EPP} \times A_i \times D \times 10^6 / (3600 \times r)$$

E_u 为生态系统蒸腾消耗量(kWh/a);EPP 为单位面积蒸腾消耗热量($\text{kJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); A_i 为第 i 个小班的面积(km^2); D 为空调开放天数(d); r 为空调效能比,默认值为 3.0。不同林地类型有着不同的单位面积蒸腾消耗热量^[18]。

②气候调节价值量核算按下式

$$V_u = E_u \times P_e$$

V_u 为气候调节价值量(元/a); E_u 为生态系统蒸腾消耗量(kWh/a); P_e 为用电价格(元/kWh)。

2.4.8 碳汇核算方法

①年度碳汇量核算公式:

$$Q_{\text{CO}_2} = \sum_{i=1}^n M_{\text{CO}_2} / M_c \times \Delta C_i$$

$$\Delta C_i = \Delta J_i \times \text{BEF} \times S$$

Q_{CO_2} 为二氧化碳固定总量(t/a); M_{CO_2}/M_c 为分子量之比,即 44/12; ΔC_i 为第 i 个小班的年度固碳量(t/a); ΔJ_i 为第 i 个小班的蓄积量之差(基于两个年度的森林资源一张图计算)(m^3/a);BEF 为生物量转换因子,无量纲; S 为各树种含碳系数,无量纲; n 为林地范围内小班数量。

②年度碳汇价值核算公式:

$$V_{\text{CF}} = Q_{\text{CO}_2} \times C_{\text{CO}_2}$$

V_{CF} 为年度碳汇总价值(元/a); Q_{CO_2} 为年度总碳汇量(t/a); C_{CO_2} 为碳汇交易价格(元/t)。

2.4.9 释氧核算方法

①年度释氧量核算公式:

$$G_{\text{氧}} = \sum_{i=1}^n 1.19 \times (\Delta C_i / S) \times F$$

$G_{\text{氧}}$ 为林分释氧量(t/a); ΔC_i 为第 i 个小班的年度固碳量(t/a); S 为各树种含碳系数; F 为森林生态系统服务修正系数,默认值为 1。

②年度释氧价值核算公式:

$$V_{\text{氧}} = G_{\text{氧}} \times C_{\text{氧}}$$

$V_{\text{氧}}$ 为年度释氧价值(元/a); $G_{\text{氧}}$ 为年度释氧量(t/a); $C_{\text{氧}}$ 为氧气价格(元/t);

2.4.10 生态旅游核算方法

①生态旅游功能量核算公式:

$$Y = \sum_{i=1}^n Y_i$$

Y 为游客量(万人/a); Y_i 为第 i 个旅游景点、农家乐的游客量(万人/a); n 为核算范围游客数量。

②生态旅游价值量核算公式:

$$V_r = \sum_{j=1}^t TC_j$$

V_r 为生态旅游价值量(万元/a); TC_j 为 j 游客的旅游消费(包括门票、交通和食宿)(元); t 为核算范围游客数量。

2.5 统计分析

①利用 Excel 2016 对司前畲族镇的各类产品(包括鲜竹笋、笋干、茶叶(*Camellia sinensis*)、板栗(*Castanea mollissima*)、杨梅(*Morella rubra*)、香榧(*Torreya grandis*)、油茶(*Camellia oleifera*)等进行产量和产值的统计,并分析作图。②计算每个小班的水土保持、气候调节、水源涵养、空气净化、水环境净化、洪水调蓄和固碳释氧的

单位面积价值, 然后进行 Min-max 数据标准化处理, 运用 SPSS 25.0 来进行 Pearson 相关性分析, 研究调节服务两两之间的协同与权衡关系。③基于 ArcGIS 10.8 来对各调节服务指标价值量进行制图, 由于空气净化价值量和水环境净化价值量并未根据小班来计算, 所以要先对其结果进行分解处理, 然后再制图。

3 结果与分析

3.1 评估结果

司前畲族镇 2021 年森林生态产品价值为 36.58 亿元, 单位面积森林生态产品价值为 20.86 万元/hm²。生态调节服务价值最高, 为 35.73 亿元, 占总价值的 97.6%。供给产品和文化服务价值分别为 8326.04 万元、174.59 万元, 分别占总价值的 2.3%、0.1%。详见表 1。

表 1 司前畲族镇 2021 年度森林生态产品功能价值/(×10⁴元)
Table 1 Functional Value of Forest Ecological Products in siqian she ethnic town in 2021

类别 Category	生态产品 Ecological products	功能量/单位 Functional quantity/unit	单位面积 价值量/hm ² Magnitude of value unit area	价值量 Magnitude of value	比例 Proportion
供给产品 Supply products	直接供给产品	6215.61 m ³ 5.7×10 ³ t	0.03 0.44	559.41 7766.63	2.3%
调节服务 Regulating services	水源涵养	1.69×10 ⁸ m ³	1.06	18644.72	5.1%
	土壤保持	4.3×10 ⁷ t	5.41	94861.93	25.9%
	洪水调蓄	2.9×10 ⁷ m ³	4.82	84486.34	23.1%
	水环境净化	135.04 t	0.01	125.76	0.0%
	空气净化	28.90 t	0.00	3.14	0.0%
	固碳释氧	1.9×10 ⁵ t	0.43	7602.86	2.1%
	气候调节	2.5×10 ⁹ kWh	8.64	151600.00	41.4%
文化服务 Culture services	生态旅游	4.9×10 ⁴ 人次	0.01	174.59	0.1%
合计 Total	—	—	20.86	365825.38	100.0%

3.2 结果分析

3.2.1 供给产品价值

司前畲族镇供给产品主要包括各类木竹产品和经济果品。其主要供给产品价值由高到低分别为笋干 (32.3%)>鲜竹笋 (28.6%)>茶叶 (17.2%)>木材 (6.7%)>杨梅 (5.4%)>毛竹 (4.0%)>油茶 (1.2%); 还有一些其他的供给产品, 包括香榧、板栗等等。具体详见图 4 和图 5。研究区没有转化利用供给产品。

3.2.2 调节服务价值

不同小班之间的各项调节服务功能价值量空间异质性较大 (图 3), 也从侧面说明了当地不同森林生态系统质量之间的差异性。司前畲族镇调节服务价值从高到低分别为气候调节>土壤保持>洪水调蓄>水源涵养>固碳释氧>水环境净化>空气净化, 其中气候调节占了整个调节服务价值的 42.4%, 占森林生态系统服务总价值的 41.4%。

3.2.3 文化服务价值

生态旅游产生价值为 174.59 万元, 其中门票收入 154.83 万元, 食宿和交通收入只有 19.76 万元。

3.2.4 生态系统服务协同与权衡

相关分析表明, 司前畲族镇土壤保持、空气净化、水环境净化、洪水调蓄和水源涵养之间具有协同关系 ($P<0.05$); 此外, 固碳释氧与空气净化、水环境净化、洪水调蓄和水源涵养之间为协同关系 ($P<0.05$); 然而, 固碳释氧和土壤保持之间呈现权衡关系 ($P<0.05$), 与气候调节的协同关系较弱且不显著性 ($P>0.05$); 气候调节与土壤保持、空气净化和水源涵养之间存在权衡 ($P<0.05$)。如图 6 所示。

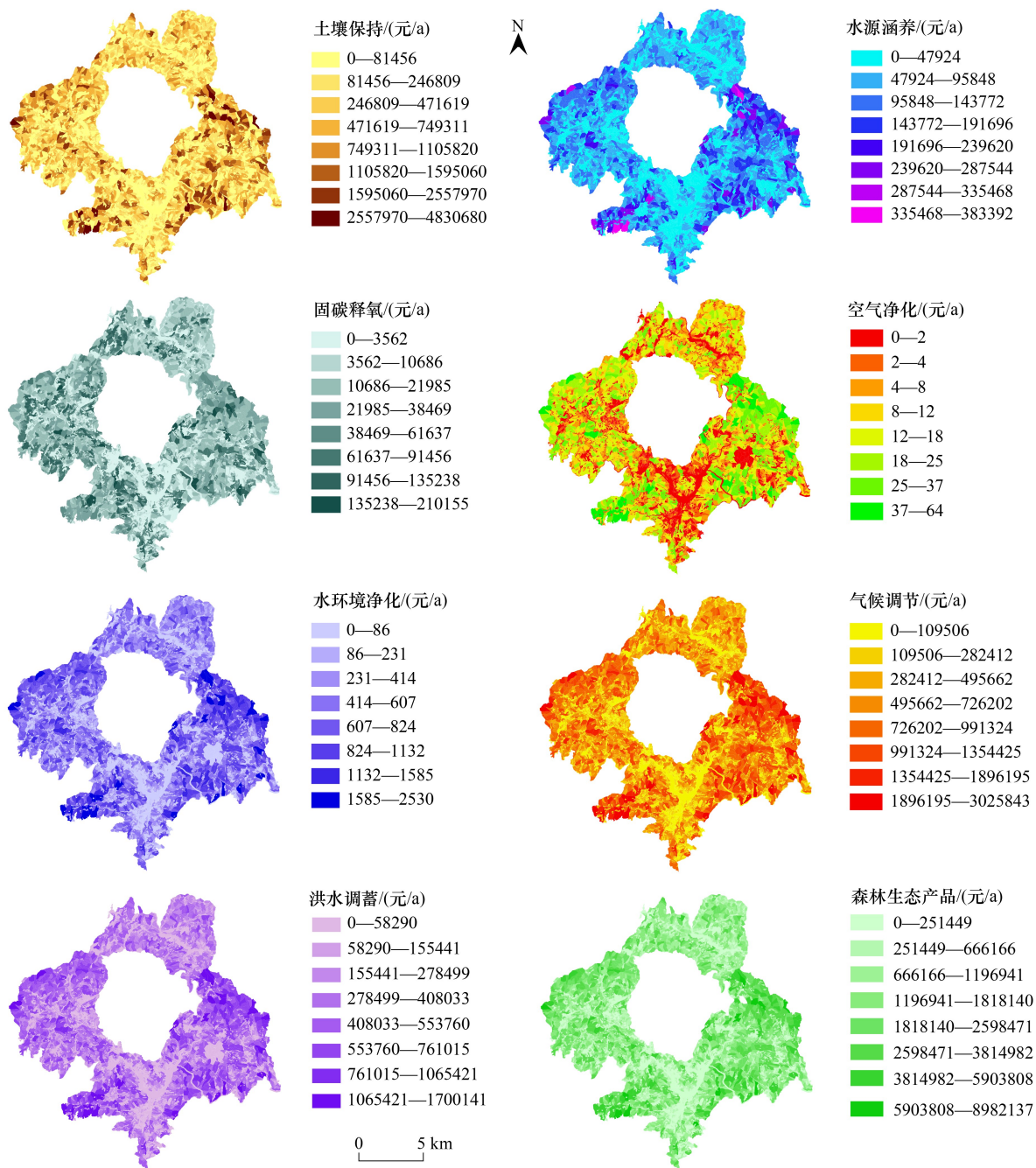


图3 司前畲族镇 2021 年森林生态产品价值空间分布图

Fig.3 Spatial distribution map of forest ecological product value in siqian she ethnic town in 2021

4 讨论

本研究以司前畲族镇的森林生态系统为核算地域范围,利用森林资源一张图数据明确了森林生态系统类型及其分布,编制了物质产品、调节服务和文化服务三大类生态产品清单,建立了多部门联合数据收集机制、确定了各类生态产品价格、以小班为核算空间单元,成功开展了司前畲族镇 2021 年森林生态产品总值评价,反映了不同生态系统之间的差异性。目前已应用此模式在浙江嵊州、新昌、柯城、泰顺、武义、金华等多个县市区成功进行了 30 多个乡镇的森林生态产品价值评估,说明本研究提出的小尺度核算模式具有普适性。

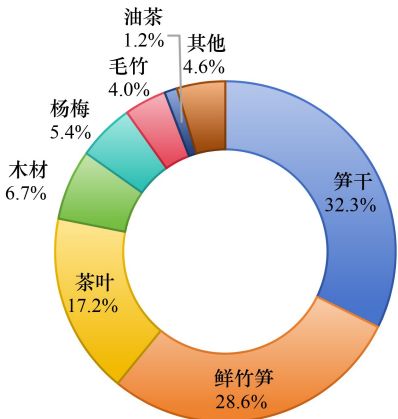


图4 司前畲族镇直接供给产品价值构成

Fig.4 The value composition of direct supply products in siqian she ethnic town

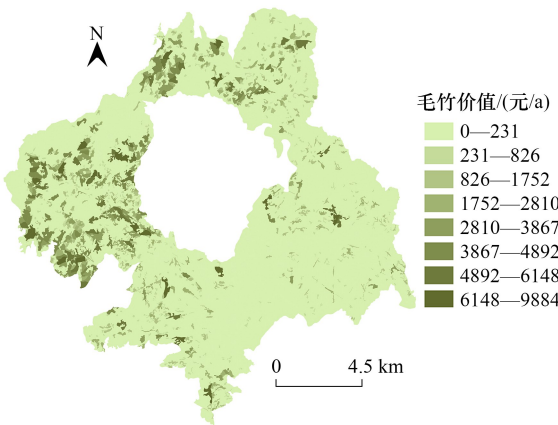


图5 司前畲族镇毛竹价值量空间分布图

Fig.5 Spatial distribution map of the value of bamboo in siqian she ethnic town

从森林生态产品总值核算的数据收集来看,大多数研究一般都采用社会公开科学数据(降雨量、蒸发量等气象数据、林业统计年鉴、价格数据、土地利用数据等)^[20–21]、遥感数据(DEM、多光谱影像数据、NDVI数据)^[22–23]、国家森林资源清查数据(森林面积、树种类型)^[24–25]。现有的GEP核算一般基于森林生态系统的遥感数据,核算的空间尺度较大,难以反映不同地块森林生态系统之间的差异性。本研究采用多部门联合数据收集机制,规范森林生态产品总值核算的基础数据归集,特别是收集了基于森林小班的森林资源年度更新数据(含森林资源一张图)。此机制保障了核算基础数据的科学性、权威性、准确性、可获得性和连续性以及核算空间单元的小尺度性。

从GEP评估方法及核算基本单元来看,不同的评估方法对同一个地方的评估结果差异较大。传统的用于估算GEP的方法主要有当量因子法、功能价值法等^[26–27],近年来,随着遥感技术的发展,越来越多的学者开始利用遥感技术来对县域以上的GEP进行评估^[28]。遥感法都是基于较大范围的空间尺度进行,没有考虑到森林破碎化而造成的生态产品价值的空间异质性,不适用于乡镇以下的小尺度核算^[29–31]。本文利用GIS技术并结合森林资源一张图图层,对司前畲族镇的森林生态产品价值进行差异化核算,利用了森林小班中的面积、坡度、海拔、地类、蓄积、株数、龄组、优势树种和郁闭度等林分信息核算了气候调节、土壤保持、水源涵养、洪水调蓄和固碳释氧等生态产品,反映了不同小班生态产品价值之间的差异性,本研究的最小核算单元仅为0.07 hm²。

从司前畲族镇的3大类服务功能来看,调节服务价值量显著,供给产品和文化服务占比较少,这与多数研究结果相符。其供给产品价值对比当地其他乡镇的统计数据来看略具优势;而文化服务方面,司前畲族镇森林生态旅游发展较为落后,相比之下,泰顺县竹里畲族乡和罗阳镇等乡镇的景区更具吸引力,但也从侧面暗示司前畲族镇的旅游产业在未来还具有较大的发展空间。

从单位面积价值来看,司前畲族镇单位面积森林生态产品价值为20.86万元/hm²。与浙江省其他地区2021年的单位面积森林生态产品价值对比来看,司前畲族镇与绍兴市嵊州市长乐镇(19.20万元 hm⁻² a⁻¹)和新昌县沙溪镇(23.41万元 hm⁻² a⁻¹)相当。但是显著低于衢州市柯城区九华乡(38.33万元 hm⁻² a⁻¹)和金华市武义县西联乡(32.28万元 hm⁻² a⁻¹)(上述数据未发表),原因在于西联乡的固碳释氧、气候调节和生态旅游的单位面积价值要高于司前畲族镇,其中气候调节价值量是其2.5倍多;九华乡的供给产品、洪水调蓄、固碳释氧、气候调节和生态旅游的单位面积价值要高于司前畲族镇。表明司前畲族镇在上述指标中还具有较大的提升潜力。

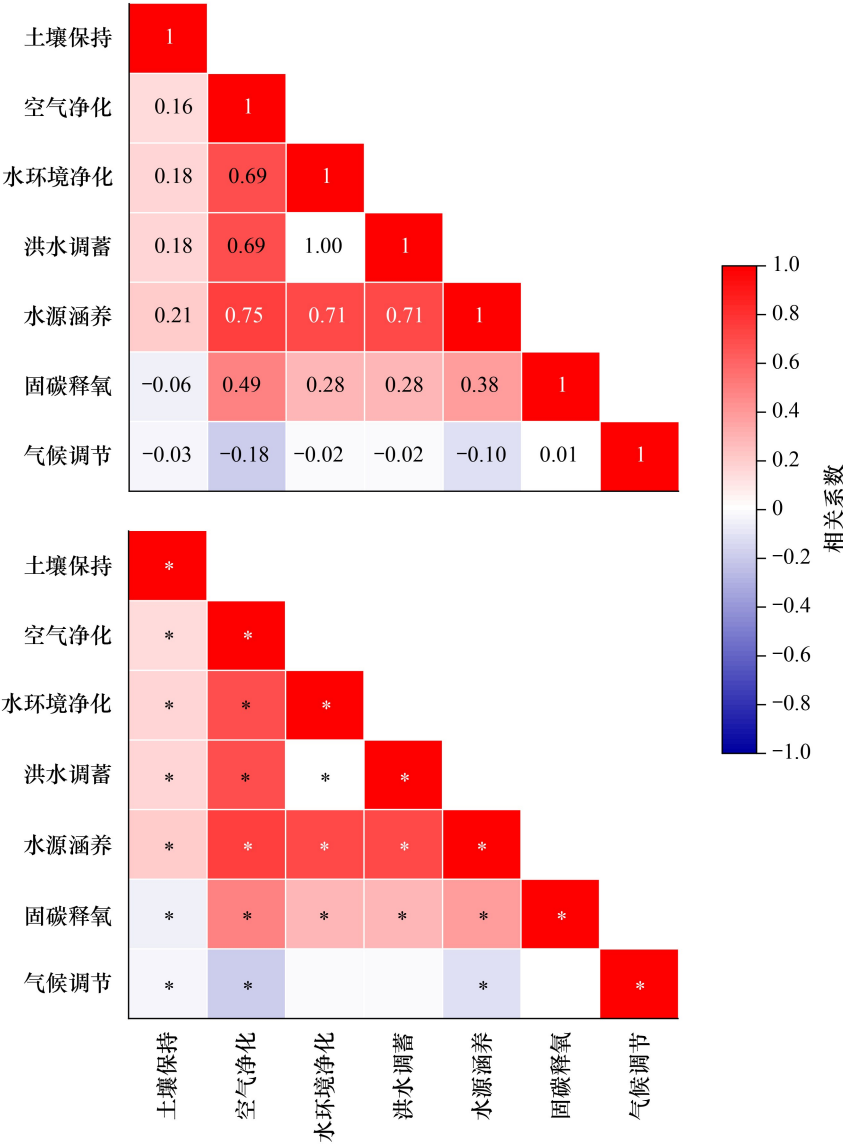


图 6 司前畲族镇 2021 年森林生态系统调节服务指标相关性分析图

Fig.6 Correlation analysis of forest ecosystem regulation service indicators in siqian she ethnic town in 2021

* $P \leq 0.05$

5 结论

本文以泰顺县司前畲族镇为核算区域,参照浙江省《生态系统生产总值(GEP)核算技术规范陆域生态系统》核算框架体系,对其进行了科学合理的实践。运用 GIS 技术并结合小班信息,准确的量化森林生态产品价值。经计算,2021 年司前畲族镇的森林生态产品总值为 36.58 亿元,单位面积森林生态产品价值为 20.86 万元/hm²。其中调节服务占比最大,供给产品和文化服务产生价值则较低;经 pearson 相关性分析表明,空气净化、水环境净化、洪水调蓄和水源涵养之间存在较强的协同关系,但与气候调节关系为权衡,固碳释氧和土壤保持呈现权衡关系。

本文的核算仅仅只针对流量而不是存量,因此未对生物多样性保育、林木营养物质积累和维持养分循环等其他支持服务指标开展评估。此次研究也表明,小尺度区域核算存在一定的困难,包括参数本地化难度大、数据空间分辨率要求高、核算价格容易受到市场调控等问题。随着生态文明建设的不断发展,对森林生态产

品核算的探索也需要得到进一步加强,针对小尺度区域的价值核算理论方法创新、指标体系构建也需要开展深入研究。

参考文献(References):

- [1] 欧阳志云,肖燧,朱春生,郑华,邹梓颖,宋昌素,博文静,黄斌斌. 生态系统生产总值(GEP)核算理论与方法. 北京: 科学出版社, 2021.
- [2] Zhiyun O, Jin Y, Zhao T Q, Zheng H. Ecosystem regulating services and their valuation of Hainan Island, China. *Journal of Resources and Ecology*, 2011
- [3] 张亚立,韩宝龙,孙芳芳. 生态系统生产总值核算制度及管理应用——以深圳为例. *生态学报*, 2023, 43(17): 7023-7034.
- [4] 孟祥江,侯元兆. 森林生态系统服务价值核算理论与评估方法研究进展. *世界林业研究*, 2010, 23(6): 8-12.
- [5] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [6] Isbell F, Calcagno V, Hector A, Connolly J, Harpole W S, Reich P B, Scherer-Lorenzen M, Schmid B, Tilman D, van Ruijven J, Weigelt A, Wilsey B J, Zavaleta E S, Loreau M. High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature*, 2011, 477(7363): 199-202.
- [7] Reid W V, Mooney H A, Capistrano D, Carpenter S R, Chopra K, Cropper A, Dasgupta P, Hassan R, Leemans R, May R M, Pingali P, Samper C, Scholes R, Watson R T, Zakri A H, Zhao S D. Nature: the many benefits of ecosystem services. *Nature*, 2006, 443(7113): 749.
- [8] Boumans R, Costanza R, Farley J, Wilson M A, Portela R, Rotmans J, Villa F, Grasso M. Modeling the dynamics of the integrated earth system and the value of global ecosystem services using the GUMBO model. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 529-560.
- [9] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 1999, 29(2): 293-301.
- [10] 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.
- [11] 浙江省市场监督管理局. 生态系统生产总值: DB33/T 2274—2020[S]. 杭州: 浙江省市场监督管理局, 2020.
- [12] 赵同谦,欧阳志云,郑华,王效科,苗鸿. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. *自然资源学报*, 2004, 19(4): 480-491.
- [13] 靳芳,鲁绍伟,余新晓,饶良懿,牛建植,谢媛媛,张振明. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. *应用生态学报*, 2005, 16(8): 1531-1536.
- [14] 张彪,史芸婷,李庆旭,谢高地. 北京湿地生态系统重要服务功能及其价值评估. *自然资源学报*, 2017, 32(8): 1311-1324.
- [15] 白玛卓嘎,肖燧,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.
- [16] 魏云龙,蔡建国. 杭州市绿地生态系统服务功能价值评估及可持续性发展研究. *浙江农林大学学报*, 2017, 34(4): 695-703.
- [17] 游旭,何东进,肖燧,王莉雁,宋昌素,欧阳志云. 县域生态保护成效评估方法——以峨山县为例. *生态学报*, 2019, 39(9): 3051-3061.
- [18] 王莉雁,肖燧,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.
- [19] 龚诗涵,肖洋,方瑜,郑华,肖燧,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.
- [20] 肖骁,穆治霖,赵雪雁,李京忠,薛冰. 基于 RS/GIS 的东北地区森林生态系统服务功能价值评估. *生态学杂志*, 2017, 36(11): 3298-3304.
- [21] 肖骁,李京忠,杨新军,张子龙,薛冰. 黄河流域中上游林草生态调节服务功能价值核算. *生态学报*, 2022, 42(19): 7830-7844.
- [22] 张静静,赵天旭,梁丹. 伏牛山地区森林生态系统服务空间差异分析. *生态环境学报*, 2020, 29(7): 1285-1291.
- [23] 王生菊,李莹,靳瑰丽,张勇娟,魏秀红,刘文昊,宫珂,马建,刘智彪,李嘉欣,李超. 乌鲁木齐市城市周边荒漠草地演变分析及生态系统服务价值评估. *草业科学*, 2023, 40(5): 1435-1448.
- [24] 涂宏涛,马国强,潘中平,李洪,张蓉,姚兴博. 云南省 2002—2017 年森林生态系统服务功能价值评估. *广西林业科学*, 2023, 52(1): 23-30.
- [25] 蒋延玲,周广胜. 中国主要森林生态系统公益的评估. *植物生态学报*, 1999, 23(5): 426.
- [26] 王梓辰,孙传淳,王超,杨正喜. 基于单位面积价值当量因子的生态系统生产总值(GEP)核算研究——以清远市为例. *环境科学与管理*, 2022, 47(3): 148-153.
- [27] 王兵,任晓旭,胡文. 中国森林生态系统服务功能及其价值评估. *林业科学*, 2011, 47(2): 145-153.
- [28] Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, Müller F. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 2012, 21: 17-29.
- [29] 王兵,鲁绍伟,尤文忠,任晓旭,邢兆凯,王世明. 辽宁省森林生态系统服务价值评估. *应用生态学报*, 2010, 21(7): 1792-1798.
- [30] 王顺利,刘贤德,王建宏,李晓兵,金铭,张学龙. 甘肃省森林生态系统服务功能及其价值评估. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(3): 139-145.
- [31] 左石磊,金姗姗,顾晓沁. 安吉县生物多样性保护优先区域森林生态系统服务价值核算. *测绘通报*, 2022(1): 139-144.