

内蒙古自治区森林碳汇核算与生态产品价值实现路径

武振国¹, 潘越明², 史主生¹, 李雪敏²

(1. 内蒙古自治区社会科学院, 内蒙古呼和浩特 010010;

2. 内蒙古财经大学 财政税务学院, 内蒙古呼和浩特 010070)

摘要: [目的] 核算内蒙古自治区森林碳汇价值, 探究生态产品价值实现路径, 为深入理解该区森林碳汇价值变化的内在机理, 推动森林生态产品可持续经营管理和价值实现提供理论参考。[方法] 以内蒙古自治区 12 市(盟)为研究区, 以 2009—2023 年为研究区间, 运用固碳速率法、最优价格法、碳税法 and 固定 CO₂ 的造林成本法, 对森林碳汇量和价值进行核算与时空演变格局分析, 并利用多元回归模型、灰色系统关联度模型对价值影响因素和因子关联度进行测算, 进而探索森林碳汇生态产品价值实现路径。[结果] ①内蒙古自治区各市(盟)森林碳汇量均实现显著增长, 且以 2014 年增长最为明显, 总增幅大部分介于 160.00%~200.00%, 乌海、巴彦淖尔和乌兰察布市超过 240.00%, 鄂尔多斯市所占比例超过 50 倍。②各市(盟)森林碳汇价值时间上整体呈现增长趋势且以偏中部地区增速最快, 空间上呈现“东高西低且东北部最高、中部由南北两端向中心递减、西部由西北向东南递减”的演变格局。③由于各市(盟)地理位置、产业结构、政策导向、林龄结构等的不同, 影响因素的作用方式和影响程度具有显著的空间异质性; 乌海市、巴彦淖尔市、兴安盟和呼伦贝尔市的因素关联程度较大, 阿拉善盟、呼和浩特市和赤峰市的因素关联度较小, 关键影响因素包括经济发展状况、降水、林业产值、森林覆盖度和森林投资规模。[结论] 内蒙古森林碳汇量与价值量存在显著的地域分异特征, 未来应立足各市(盟)资源禀赋与生态功能定位因地制宜制定碳汇发展政策, 探索差异化的森林碳汇产品价值实现模式, 以分区精细化管理推动内蒙古森林碳汇产品价值的高效转化与实现。

关键词: 森林碳汇; 生态产品; 价值核算; 价值实现; 内蒙古自治区

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2025)05-0155-12

中图分类号: X196

文献参数: 武振国, 潘越明, 史主生, 等. 内蒙古自治区森林碳汇核算与生态产品价值实现路径[J]. 水土保持通报, 2025, 45(5): 155-166. Wu Zhenguo, Pan Yueming, Shi Zhusheng, et al. Accounting for forest carbon sequestration and pathways to ecological product value realization in Inner Mongolia Autonomous Region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025, 45(5): 155-166. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2025.05.006; CSTR: 32312.14.stbctb.2025.05.006.

Accounting for forest carbon sequestration and pathways to ecological product value realization in Inner Mongolia Autonomous Region

Wu Zhenguo¹, Pan Yueming², Shi Zhusheng¹, Li Xuemin²

(1. Inner Mongolia Academy of Social Sciences, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China; 2. School of

Finance and Taxation, Inner Mongolia University of Finance and Economics, Hohhot, Inner Mongolia 010070, China)

Abstract: [Objective] The forest carbon sink value in the Inner Mongolia Autonomous Region was quantified, and pathways for realizing the value of ecological products were explored, in order to deeply understand the intrinsic mechanism of changes in the carbon sink value of forests in this area and provide theoretical references for promoting the sustainable management and value realization of forest ecological products. [Methods] The study

收稿日期: 2025-01-07

修回日期: 2025-06-03

采用日期: 2025-06-04

资助项目: 内蒙古自治区社会科学基金项目“内蒙古生态产品价值实现机制创新研究”(2024EY09); 内蒙古自治区教育厅一流学科科研专项(YLXKZX-NCD-015); 内蒙古自治区自然科学基金项目(2023QN07010); 内蒙古自治区社会科学基金项目(2025DY17)

第一作者: 武振国(1985—), 男(汉族), 内蒙古自治区乌兰察布市人, 硕士, 研究员, 主要从事城乡融合发展与生态治理方面的研究。Email: skywuzg@163.com.

通信作者: 潘越明(2000—), 女(汉族), 广东省清远市人, 硕士研究生, 研究方向为生态资产评估。Email: panyueming126@163.com.

focused on twelve prefecture-level cities (leagues) in the Inner Mongolia Autonomous Region, covering the period from 2009 to 2023. A multimetric framework was developed to quantify forest carbon sinks and analyze their spatiotemporal evolution, integrating carbon sequestration rate, optimal pricing, carbon tax, and afforestation cost methods for CO₂ fixation. In addition, multiple regression models and grey relational analysis were employed to assess influencing factors and the degree of inter-factor association, thereby identifying potential pathways for realizing the value of forest carbon sink-based ecological products. [Results] ① The forest carbon sinks of all prefecture-level cities (leagues) in Inner Mongolia increased significantly, with the most notable growth observed in 2014. The total increase ranged from 160% to 200%, with Wuhai City, Bayan Nur City, and Ulanqab City exceeding 240%, and Ordos experiencing an increase of more than 50-fold. ② The forest carbon sink value in each prefecture-level city (league) showed an overall upward trend, with the fastest growth occurring in the central regions. Spatially, the pattern was characterized by higher values in the east and lower values in the west, with peak values in the northeast, declining from the northern and southern edges toward the center in the midland areas, and from northwest to southeast in the western regions. ③ Differences in geographical location, industrial structure, policy orientation, and forest age structure among the prefecture-level cities (leagues) resulted in significant spatial heterogeneity in the operational mechanisms and intensity of influencing factors. Specifically, Wuhai City, Bayan Nur City, Hinggan League, and Hulunbuir City exhibited stronger inter-factor correlations, while Alxa League, Hohhot City, and Chifeng City showed relatively weaker associations. The primary influencing factors included economic development, precipitation, forestry output value, forest coverage, and the scale of forest investment. [Conclusion] Forest carbon sink volume and value in Inner Mongolia displayed significant regional differentiation. Future policies should formulate carbon sink development strategies tailored to local conditions based on each prefecture-level city's (league's) resource endowments and ecological function positioning. Differentiated pathways for realizing forest carbon sink product value should be explored to promote efficient transformation and value realization through region-specific, refined management in Inner Mongolia.

Keywords: forest carbon sequestration; ecological product; value accounting; value realization; Inner Mongolia Autonomous Region

森林碳汇作为典型的生态产品,在碳中和进程中发挥着碳减排与气候调节的双重功能,为“双碳”目标下生态产品市场化机制创新提供了重要实践路径。2021年《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》便提出要“健全碳排放权交易机制,探索碳汇交易试点”,2022年《全民所有自然资源资产所有权委托代理机制试点方案》提出要对森林等8大类全民所有自然资源资产的数量、质量、价值等进行清查,显化资产价值,实现生态产品收益^[1]。森林是陆地上最大的碳储库和最经济有效的吸碳器,还兼具涵养水源、保持水土、促进就业、拓展产业等多种生态、经济和社会功能,近年来有关森林碳汇产品及其价值实现的研究逐渐受到学界广泛关注。

纵观已有研究,国内外学者主要从国家、省域、流域等空间尺度对森林碳汇实物量与价值量进行研究^[2-4]。关于碳汇量计量方法使用较为广泛的是森林蓄积量拓展法^[5]、生物量因子拓展法^[6],也有部分学者使用森林资源2类清查数据和IPCC 2006指南方法^[7]、生物量清单法、容积法和无人机法^[8]进行测算;

有关森林碳汇价值主要基于区域碳储量和碳汇价格进行测算。如北京市森林碳汇经济价值评估,承德市森林碳汇价值核算,浙江省林业经济价值评价等^[9-10]。随着研究的深入,也有学者^[11]开始探究森林碳汇量的影响因素,但对森林碳汇价值驱动因子与影响机制的关注较少。生态产品价值实现方面,多数学者从理论层面开展相关研究,如从供需融合视角分析主体行为特征、梳理并构建生态产品价值实现的基本逻辑与具体路径^[12];以自然资源领域典型案例为基础,运用扎根理论研究范式解析生态产品价值实现逻辑^[13];基于生态产品“资源-资产-资本-资金”属性提出价值实现路径,进而厘清制约生态产品价值实现的障碍机理等^[14]。少数学者^[15-16]通过生态产品价值核算、价值实现程度评价和生态产品价值影响因素分析,提出价值实现机制与路径,但以森林碳汇为对象的生态产品价值实现路径研究还略显匮乏。综上所述,对森林碳汇及其价值量进行评估并分析其影响因素,针对现存问题探索森林碳汇产品价值实现的发展路径具有重要意义。

内蒙古自治区是中国北方重要的生态安全屏障,森林面积 $2.60 \times 10^7 \text{ hm}^2$,活立木蓄积量 $1.66 \times 10^9 \text{ m}^3$ [17]。全区已建立以森林生态系统为主要保护对象的保护区64个,蕴藏着巨大的森林碳汇开发潜力。然而,由于缺乏对森林碳汇价值的认知及合理的政策支持,长期的重开发利用轻建设管理等现象导致该区生态退化严重[18],森林碳汇潜力未能被充分挖掘。近年来,内蒙古自治区森林生态系统逐渐引起学术界的关注,但已有研究[19-20]更加重视其服务功能评估指标的丰富度,针对森林碳汇的价值评估、影响因素和碳汇生态产品交易等研究相对较少。基于此,本文以内蒙古自治区12市(盟)为研究对象,通过改进的固碳速率法核算森林碳汇实物量,综合运用最优价格法、碳税法 and 造林成本法对森林碳汇价值进行评估,揭示2009—2023年内蒙古自治区森林碳汇价值的时空演变特征,并利用多元回归和灰色系统关联度方法对森林碳汇价值的影响因素及因子关联度进行测算和分析,进而针对性提出森林碳汇生态产品价值实现路径,以期为推进该区森林碳汇交易、合理制定森林生态产品价值实现政策提供数据支撑和决策依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

内蒙古自治区地域狭长,由西北向东南斜伸,东西直线距离超过2 400 km,地处 $97^{\circ}12' - 126^{\circ}04'E$, $37^{\circ}24' - 53^{\circ}23'N$,海拔86~3 496 m,内蒙古自治区总面积为 $1.18 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。全区下辖12个地级行政区,包括3个盟和9个地级市,分别为阿拉善盟、锡林郭勒盟、兴安盟、乌海市、巴彦淖尔市、鄂尔多斯市、包头市、呼和浩特市、乌兰察布市、赤峰市、通辽市和呼伦贝尔市。内蒙古土地覆盖类型多样且森林资源丰富,气候以温带大陆性季风气候为主,地势起伏较大,多样的水热条件和差异化的地势起伏为森林生长提供了有利条件。然而,各盟市间的自然资源分布、经济发展水平和社会发展程度等差异较大,导致区域内部发展极不均衡。因此,以盟市为研究单元可更好地揭示森林碳汇及其价值量的时空演变特征与影响机制,进而探索森林碳汇生态产品价值实现路径。

1.2 数据来源及处理

使用的数据包括土地利用、经济社会、生态环境、气象和政策执行等,数据来源详见表1。其中,土地利用数据采用9个一级地类(农田、森林、灌木、草原、水域、冰雪、裸地、不透水面、湿地),经ArcGIS面积制表工具提取获得森林数据;年降水量数据通过

中国地面气候资料日值数据集V3.0处理生成,利用python将清洗后数据处理为每日csv数据,按年度累加进行展开、投影后采用反距离权重法对数据插值,按行政区划将数据分区统计进而拼接得到逐年分市数据;年平均气温数据来自美国国家海洋和大气管理局(NOAA)下设的国家环境信息中心(NCEI),基于气象站点的经纬度和逐日平均气温数值,利用反距离权重法插值得到全国范围逐日平均气温栅格图,根据研究区域地级市行政边界数据和气温栅格图统计其逐日平均气温数值,并以此计算逐年平均气温;个别空缺数据如锡林郭勒盟2009—2014年城镇常住人口数和阿拉善盟2009—2010年大专、本科、研究生数量,通过逐年增长量或增长率插值法进行补值。

1.3 研究方法

1.3.1 森林碳汇量计量方法

参考《陆地生态系统生产总值(GEP)核算技术指南》,同时考虑传统固碳速率法对林下植物固碳能力的忽略,本研究基于森林蓄积量拓展法对其进行改进以计量森林碳汇量。根据森林植被固碳速率与森林面积测算森林植被固碳量,将森林植被固碳量与林下植物碳转换系数相结合计算林下植物固碳量,利用森林土壤固碳速率与森林面积计算森林土壤固碳量,将森林植被固碳量、林下植物固碳量和森林土壤固碳量进行加总后,运用C转化为 CO_2 转换系数计算得到森林生态系统碳汇量。具体计算公式为

$$FC_{ij} = [FCSR \times SF_{ij} \times (1 + \alpha) + FCSS \times SF_{ij}] \times M_{\text{CO}_2} / M_C \quad (1)$$

式中: FC_{ij} 为第*i*个盟市第*j*年的森林生态系统碳汇量(t/a);FCSR为森林植被固碳速率[$(\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a}))$]; SF_{ij} 为第*i*个盟市第*j*年的森林面积(hm^2); α 为林下植物碳转换系数,取IPCC默认值0.195;FCSS为森林土壤固碳速率[$(\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a}))$]; M_{CO_2} / M_C 为C转化为 CO_2 的转换系数44/12。

基于森林植被固碳速率和森林土壤固碳速率数据可得性及植被生长速度和固碳能力增长变化缓慢的现实情况,假设在同一森林资源清查周期各盟市的森林植被固碳速率和森林土壤固碳速率相同。

1.3.2 森林碳汇价格确定方法

基于碳汇生产者收益最大化、外部经济因素对碳汇价格的影响、碳汇带来的收益或失去碳汇造成的损失3个视角,选择使用最优价格法、碳税法 and 造林成本法的平均价格对森林碳汇价格进行测算。具体计算公式为

$$P = \frac{P_{OPM} + P_{CT} + P_{AC}}{3} \quad (2)$$

式中： P 为平均价格； P_{OPM} 为碳汇最优价格，借鉴张颖等^[21]研究，中国森林碳汇最优价格区间为 10.11~15.17\$/t，一般选用上限； P_{CT} 为碳税价格，借鉴刘梅娟等^[22]基于《森林生态系统服务功能评估规范》所推

荐碳汇资产单价标准，即采用瑞典碳税率 150\$/t 碳； P_{AC} 为运用造林成本法得到的碳汇价格，参考李文华等^[23]研究，碳固定价值取 365 元/t CO₂，碳蓄积价值取 20.5 元/t CO₂，根据谢高地等^[24]研究，碳汇价值为碳固定价值和碳蓄积价值之和，因此固定 CO₂的造林成本取 385.5 元/t。

表 1 不同数据精度及来源

Table 1 Different data precision and sources

数据类型	精度/格式	数据来源
森林面积数据	30 m	中国年度土地覆盖数据集及其动态变化(1985—2022年)数据集(https://www.ncdc.ac.cn/portal/metadata/9de270f3-b5ad-4e19-afc0~2531f3977f2f)
行政边界数据	矢量数据	国家基础地理信息中心(https://www.ngcc.cn/)
2009—2018年森林植被固碳速率、土壤固碳速率	文本	《陆地生态系统生产总值(GEP)核算技术指南》
2019—2023年森林植被固碳速率、土壤固碳速率	文本	文献资料 ^[25]
C转化为CO ₂ 转换系数数据	文本	《陆地生态系统生产总值(GEP)核算技术指南》
林下植物碳转换系数数据	文本	文献资料 ^[5]
碳汇价格数据	文本	文献资料 ^[21-24]
汇率数据	文本	《中国统计年鉴》《中国财政年鉴》、中国外汇交易中心(https://www.chinamoney.com.cn/chinese/jyhfwywgz/)
经济社会数据、生态环境数据、政策执行数据	文本	《内蒙古统计年鉴》《内蒙古经济社会调查年鉴》《中国城市统计年鉴》
降水气象数据	1 km	中国地面气候资料日值数据集 V3.0(http://101.200.76.197:93/data/cdcdetail/dataCode/SURF_CLI_CHN_MUL_DAY_V3.0.html)
气温气象数据	1 km	美国国家海洋和大气管理局(NOAA)下设的国家环境信息中心(NCEI)(https://www.ncei.noaa.gov/data/global-summary-of-the-day/archive/)

计算 P_{OPM} 和 P_{CT} 时，参考不同年份中国外汇交易中心和统计年鉴中公布的美元兑人民币年平均汇率；计算 P_{AC} 时，考虑固定 CO₂ 的造林技术、方式等在短时间内不会发生较大变化，因此假设研究期间造林成本不发生变化。

1.3.3 森林碳汇价值影响机制测算模型

森林碳汇价值影响机制模型的构建旨在研究不同因素对森林碳汇价值的影响方式，以探究价值变化的内在机理。将森林碳汇价值作为被解释变量，解释变量根据系统科学理论划分为经济、社会、生态和政策干预子系统(表 2)。借鉴相关研究^[26-28]，经济子系统涵盖经济发展状况、经济发展速度、产业结构、林业产值和第一产业从业人数；社会子系统包括人口疏密程度、受教育程度和城镇化水平；生态子系统选择降水、气温和森林覆盖度；政策干预子系统选择森林投资和森林培育两个因素。

通过多重共线性检验和异方差检验对各影响因素进行调整、删减和对数处理，最终选取通过检验的指标进行多元回归分析。森林碳汇价值影响机制测算模型为

$$y = c + \sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^5 \alpha_k x_i + \sum_{j=1}^3 \sum_{i=6}^8 \beta_j x_i + \sum_{m=1}^3 \sum_{i=9}^{11} \gamma_m x_i + \sum_{n=1}^2 \sum_{i=12}^{13} \mu_n x_i + \epsilon \quad (3)$$

式中： x_i 依次表示经济子系统、社会子系统、生态子系统、政策干预子系统各个解释变量； $\alpha_k, \beta_j, \gamma_m, \mu_n$ 分别表示各解释变量回归影响系数； c 为截距； ϵ 为随机扰动项。

1.3.4 森林碳汇价值关键影响因素测度方法

灰色系统关联度模型可定量揭示系统内各因素与事物间的相对变化形势。为进一步探究森林碳汇价值关键影响因素，运用灰色系统关联度模型测度各盟市影响因素指标与森林碳汇价值间的关联度，根据关联度大小排序寻找影响森林碳汇价值的主要因素，揭示各因子变化方向和速度的关联程度。计算公式为

$$Y_i(k) = \frac{X_i(k)}{X_i(1)} \quad (4)$$

$$\Delta_i = [\Delta_i(1), \Delta_i(2) \cdots \Delta_i(k)], \quad \Delta_i(k) = |Y_0(k) - Y_i(k)| \quad (5)$$

表 2 森林碳汇价值影响因素及具体指标

Table 2 Factors and specific indicators affecting value of forest carbon sinks

子系统类型	影响因素	具体指标及计算公式
经济子系统	经济发展状况	GDP
	经济发展速度	人均 GDP 指数
	产业结构	$\frac{\text{第一产业 GDP}}{\text{GDP}}$
	林业产值	林业产值
	第一产业从业人数	农业劳动力数量
社会子系统	人口疏密程度	常住人口密度
	受教育程度	6 岁以上平均受教育年限 = $\frac{\left[\begin{array}{l} \text{未上学人数} \times 0 + \text{小学人数} \times 6 + \\ \text{初中人数} \times 9 + \text{高中人数} \times 12 + \\ (\text{大专} + \text{本科} + \text{研究生}) \times 16 \end{array} \right]}{\text{6 岁及以上人口数}}$
	城镇化水平	$\frac{\text{城镇常住人口}}{\text{地区总常住人口}}$
生态子系统	降水	年降水量
	气温	年平均气温
	森林覆盖度	$\frac{\text{森林面积}}{\text{行政区域总面积}}$
政策干预子系统	森林投资	在节能环保上的一般公共预算支出
	森林培育	造林总面积

$$\min \Delta_i(k) = [\min \Delta_1(1), \min \Delta_2(2) \cdots \min \Delta_i(k)] \quad (6)$$

$$\max \Delta_i(k) = [\max \Delta_1(1), \max \Delta_2(2) \cdots \max \Delta_i(k)] \quad (6)$$

$$m = \min \min \Delta_i(k); M = \max \max \Delta_i(k) \quad (7)$$

$$\lambda_i(k) = \frac{m + \mu M}{\Delta_i(k) + \mu M} \quad (8)$$

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \lambda_i(k) \quad (9)$$

式中: $Y_i(k)$ 为第 i 个因素第 k 年的初值化处理值, $i = 0, 1, 2 \cdots n$; $X_i(k)$ 为第 i 个因素第 k 年的数值, $i = 0, 1, 2 \cdots n$; $X_i(1)$ 为第 i 个因素基年(2009 年)的数值, $i = 0, 1, 2 \cdots n$; $\Delta_i(k)$ 为第 i 个因素第 k 年的差序列, $i = 1, 2 \cdots n$; μ 为分辨系数, 取 $\mu = 0.5$; $\lambda_i(k)$ 为第 i 个因素第 k 年的因子关联系数, $i = 1, 2 \cdots n$; r_i 为第 i 个因素的因子关联度, $i = 1, 2 \cdots n$; 当 $i = 0$ 时表示森林碳汇价值, 当 $i = 1, 2 \cdots n$ 时表示影响因素; n 为影响因素的个数。

2 结果与分析

2.1 森林碳汇量及价值时空演变特征

2.1.1 森林碳汇量变化特征

2009—2023 年内蒙古森林碳汇量整体呈现增长趋势(图 1), 各盟市森林碳汇量在全国第八次森林清查周期(2009—2013 年)和第 9 次森林清查周期(2014—2018 年)的分界年份(2014 年)出现显著增加, 增幅

均超过 120.00%。具体来看, 东部的赤峰市在 2009—2023 年呈稳定增长趋势, 碳汇量由 2.46×10^6 t 增长至 7.69×10^6 t, 增幅达 212.29%; 通辽市、呼伦贝尔市和兴安盟研究期间除个别年份有所下降外, 整体呈增长趋势, 碳汇量分别由 8.12×10^5 , 4.63×10^7 和 4.90×10^6 t 增长至 2.24×10^6 , 1.20×10^8 和 1.30×10^7 t, 增幅分别为 176.09%, 158.60% 和 165.08%。中部的锡林郭勒盟、乌兰察布市和呼和浩特市均处于持续增长状态, 碳汇量整体增长幅度均超过 190.00%, 其中乌兰察布市增幅达到 275.95%, 分别由 2.45×10^5 , 1.72×10^5 , 2.21×10^5 t 上升到 7.17×10^5 , 6.46×10^5 , 6.63×10^5 t。西部的阿拉善盟和包头市基本保持稳定增长趋势, 2009—2023 年碳汇量由 6.65×10^4 , 5.07×10^4 t 增长至 1.74×10^5 , 1.36×10^5 t, 总体增幅分别为 162.14% 和 168.53%; 乌海市除在 2014—2023 年出现两次小幅波动以外, 整个研究期碳汇量呈现上升趋势, 由 10.38 t 增长至 38.05 t, 总增幅达 266.55%; 巴彦淖尔市在 2009—2013 年出现两次大幅下降波动, 2014 年之后恢复稳定增长, 2009—2023 年碳汇量由 5.05×10^4 t 增长至 1.73×10^5 t, 增幅达 243.09%; 鄂尔多斯市处于稳定大幅增长态势, 碳汇量在研究期从 4.21×10^2 t 提升至 2.22×10^4 t, 总增幅超过 50 倍。

2.1.2 森林碳汇价值时空变化

2009—2023 年内蒙古森林碳汇价值量大且整体

呈现上升趋势,从2009年的 2.79×10^{10} 元增加至2023年的 7.50×10^{10} 元(图2)。以2009—2013年、2014—2018年、2019—2023年为3个研究周期,各盟市森林碳汇价值量在每个周期均较上一周期出现较大幅度增长,其中作为全国森林清查周期分界年份的2014年和2019年增长尤为显著。具体来看,东部的通辽市、呼伦贝尔市和兴安盟在2009—2013年出现小幅下降,2014—2023年基本保持稳定增长,研究周期碳汇价值分别从 4.10×10^8 、 2.34×10^{10} 、 2.47×10^9 元上升至 1.16×10^9 、 6.19×10^{10} 、 6.71×10^9 元,总增幅均高于160.00%;赤峰市研究期内基本保持增长状态,森林碳汇价值由 1.24×10^9 元增至 3.97×10^9 元,总增幅达219.75%。中部的乌兰察布市和呼和浩特市在第

一个研究周期内先下降后回升,锡林郭勒盟则出现先上升后下降的趋势;第二和第三周期3个盟市的变动趋势趋于一致,其中第二周期基本持续增长,第三周期则呈现“上升—下降—上升”的波动规律,各盟市总增幅均超过200.00%。西部各盟市森林碳汇价值在不同研究周期内均出现增减波动,且变化方式存在较大差异,2009—2023年阿拉善盟和包头市的增幅均位于170.00%左右,分别由 3.36×10^7 、 2.56×10^7 元增长至 9.01×10^7 、 7.04×10^7 元;乌海市和巴彦淖尔市增幅均超过250.00%,分别由 5.2×10^3 、 2.55×10^7 元增长到 1.97×10^4 、 8.96×10^7 元;鄂尔多斯市增长最为显著,由 2.12×10^5 元上涨为 1.15×10^7 元,总增幅超过50倍。

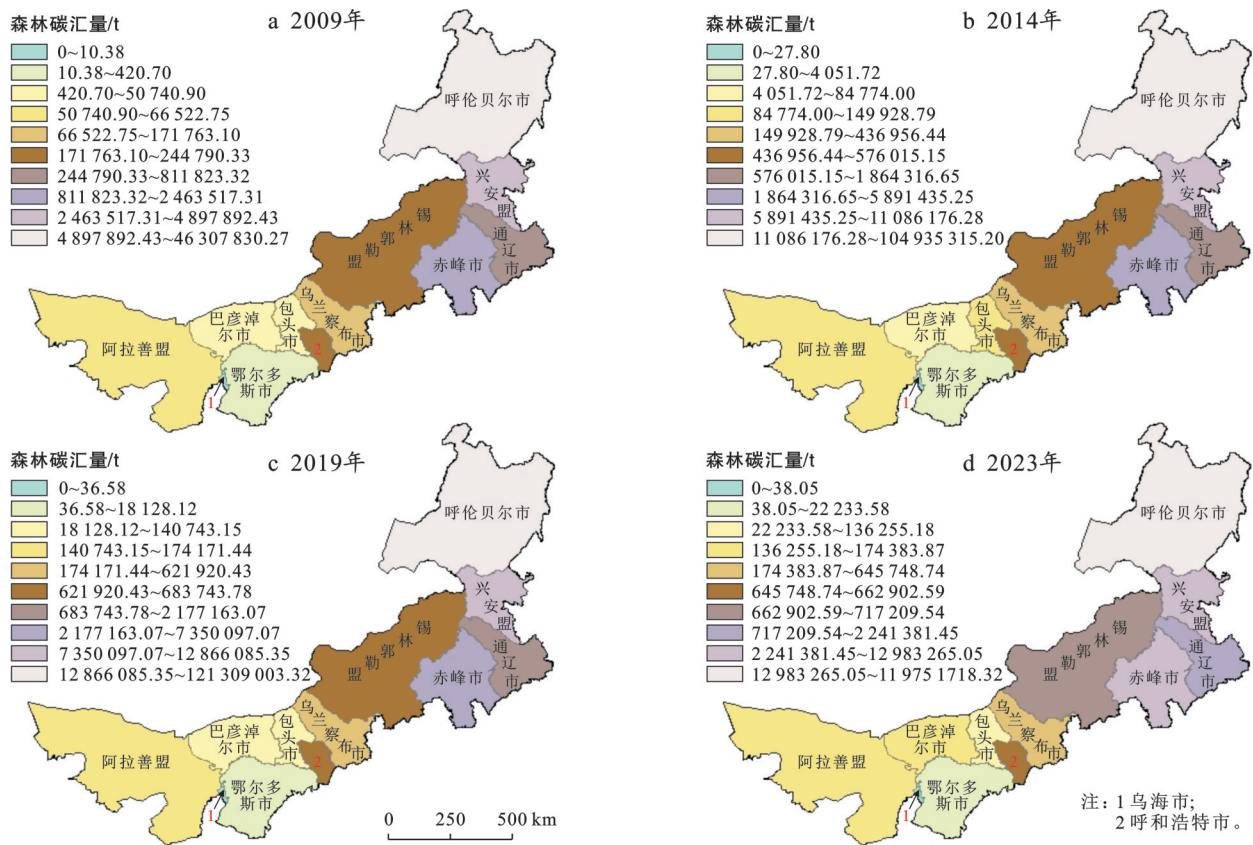


图1 内蒙古自治区各盟市2009—2023年森林碳汇量变化

Fig.1 Changes in forest carbon sequestration in leagues (cities) of Inner Mongolia Autonomous Region from 2009 to 2023

在空间上,内蒙古自治区森林碳汇价值总体呈由东向西逐渐减少的变化格局(图3),碳汇价值高值区主要集中于东部地区,中部次之,西部处于最低值区。相较于东西方向的空间分布特征,南北方向变化则较为复杂;其中:东部区基本呈北高南低的空间分布特征,中部呈现由南北两端向中部逐渐递减的特征,西部表现为由西北向东南递减的格局。由此可见,内蒙古自治区森林碳汇价值分布具有明显的空间集聚和空间非均衡特征。

2.2 森林碳汇价值影响机制分析

2009—2023年拟合结果显示(表3),经济、社会、生态和政策干预子系统各个因素共同驱动森林碳汇价值变化,但由于各盟市地理位置、产业结构、政策导向、林龄结构等的不同,影响因素作用方式和方向呈现明显的空间异质性。①经济子系统中,经济发展状况、经济发展速度和林业产值对森林碳汇价值的影响主要与产业结构相关。经济发展状况方面,东部兴安盟和通辽市的GDP总值与森林碳汇价

值呈正相关,该地区以生态文化旅游业、现代绿色农牧业等为重点产业,产业发展对生态环境具有较强的依赖性,经济发展状况与森林碳汇发展相辅相成;中西部的鄂尔多斯、包头市等以工业为主要产业,产业发展挤占森林碳汇发展空间进而抑制其价值提升,导致这些地区生产总值与森林碳汇价值呈负相关。经济发展速度方面,兴安盟、乌海市和巴彦淖尔市等 9 盟市的人均 GDP 指数均与森林碳汇价值呈正相关,是由于近年来区域积极谋求产业转型升级,不断推动绿色低碳高质量发展;阿拉善盟、锡林郭勒盟和通辽市则呈现负相关关系,该盟市位于生态脆弱区,生态修复成本刚性增长使得新兴产业培育滞后,经济增长动能不足。林业产值方面,除锡林郭勒盟、鄂尔多斯市和包头市以外,其余盟市林业产值与森林碳汇价值呈现负相关,随着我国产业结构逐渐向“三二一”格局调整,第三产业发展造成森林碳汇减少抵消了第一产业对森林碳汇的促进作用,且发展林业产业短期内可能会导致森林资源过度消耗。

②社会子系统中,人口疏密程度在乌海市、巴彦淖尔市、鄂尔多斯市等均对森林碳汇价值产生负向影响,这些地区多属于能源富集区,城镇化率和工业化率均高于自治区平均水平,使得人口密度增加持续挤占生态空间;在阿拉善盟、锡林郭勒盟、兴安盟等地区则产生正向作用,主要与当地政策相关,如阿拉善盟国家级公益林保护和管理、天然林保护和修复项目的实施,兴安盟作为国家生态文明建设示范盟,政策导向促使相关林业部门或企业吸纳更多的劳动力

推动森林碳汇发展。地区总体受教育程度的提升对促进工业减排、森林培育等具有重要意义,可为发展森林碳汇提供更优质的技术保障,正向影响的盟市主要有锡林郭勒盟、巴彦淖尔市等;与此同时,受教育程度提高也会导致人才流向薪资更高的行业如高新技术行业等,如对于东部部分盟市由于缺乏类似行业而产生负向影响。

③生态子系统中,锡林郭勒盟、通辽市等的降水和气温与森林碳汇价值呈正相关,因良好的水热条件会使植物孔径放大加快光合作用以促进植被的固碳作用。但在降水量偏多的兴安盟、赤峰市以及气温偏高的鄂尔多斯市、阿拉善盟等却出现水热条件与森林碳汇价值呈负相关的现象。可能由于降水量超过合适界限后氮损失增多,气温持续升高则会增加有机碳分解削弱生态系统的固碳效应,造成森林生态系统碳汇能力下降和碳汇价值减少。森林覆盖度与碳汇价值在兴安盟、呼和浩特市、乌兰察布市、通辽市和呼伦贝尔市出现负相关,可能与区域林龄结构有关,因中龄林固碳速率最大,而幼龄林固碳速率相对较低,当幼龄林覆盖度占比较大时会对森林固碳量产生负向作用。

④政策干预子系统中,呼伦贝尔市、乌兰察布市的森林投资和造林面积均与碳汇价值呈负相关,一方面森林投资周期与碳汇形成时间存在相位差,使得森林碳汇量在短期内无法有效提升;另一方面可能由于节能环保投资大量流入林业以外如氢能、风能建设等,同时森林面积扩张也会带来单位面积抚育投入降低,抑制森林碳汇价值增长。

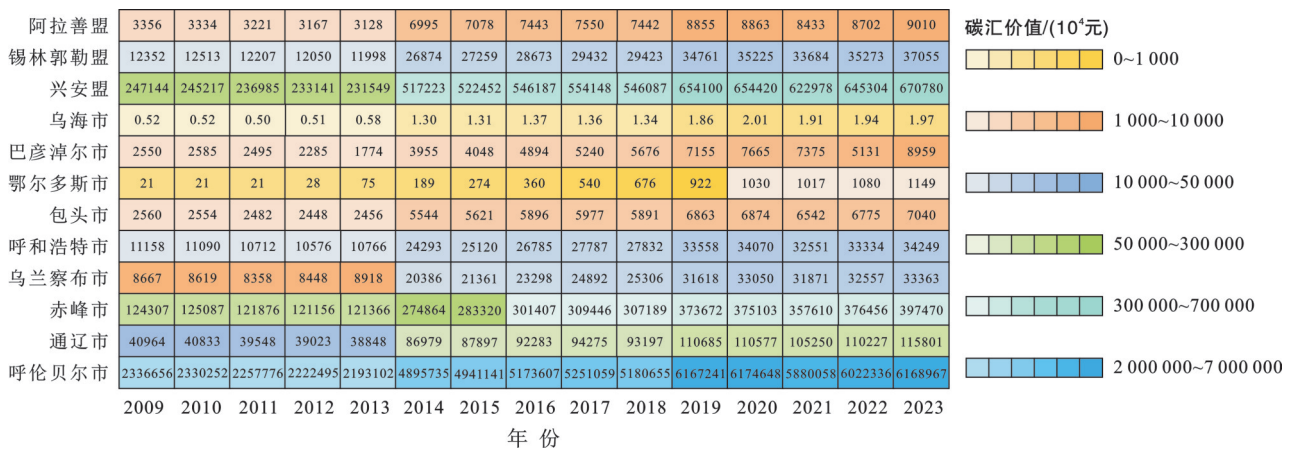


图 2 内蒙古自治区各盟市 2009—2023 年森林碳汇价值变化

Fig.2 Changes in forest carbon sink value in leagues (cities) of Inner Mongolia Autonomous Region from 2009 to 2023

2.3 基于灰色系统模型的因素关联程度分析

经济、社会、生态和政策干预子系统中的影响因素与森林碳汇价值的关联度在各盟市均具有显著异质性(图 4)。整体而言,乌海市、巴彦淖尔市、兴安盟

和呼伦贝尔市的指标关联程度较大,阿拉善盟、呼和浩特市和赤峰市的指标关联度较小。其中,经济发展状况和降水在各盟市呈现的关联程度较高,说明这些因素对提升森林碳汇价值和促进绿色可持续发

展具有重要作用;森林面积增加规模、气温和受教育程度对各盟市森林碳汇价值的影响具有明显地域分

异性,应结合地方资源禀赋与社会经济特征制定针对性发展政策,以推动森林碳汇价值的实现。

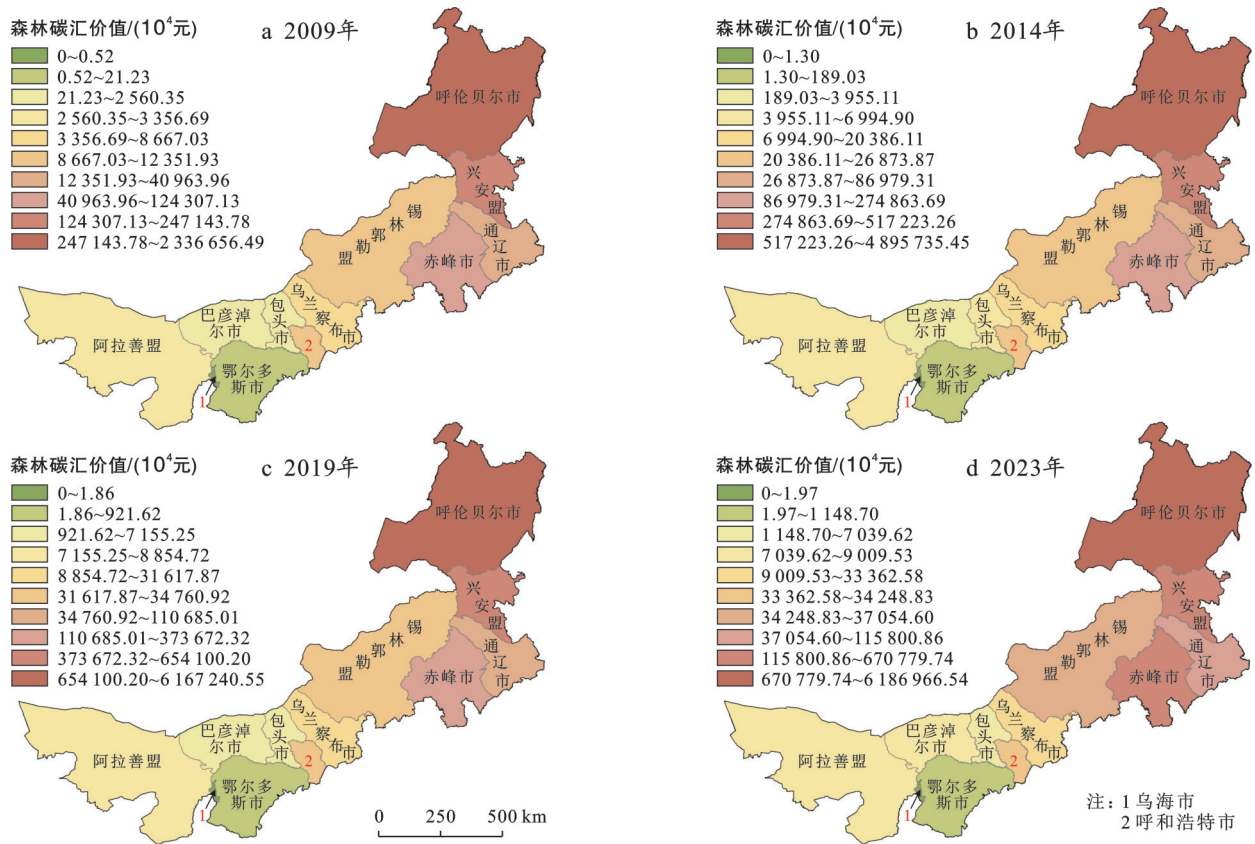


图3 内蒙古自治区各盟市 2009—2023 年森林碳汇价值空间分布
Fig.3 Spatial distribution of forest carbon sink value in leagues (cities) of Inner Mongolia Autonomous Region from 2009 to 2023

表 3 内蒙古自治区各盟市 2009—2023 年森林碳汇价值影响因素回归结果
Table 3 Regression results of influencing factors of forest carbon sink value in leagues (cities) of Inner Mongolia Autonomous Region from 2009 to 2023

盟市名称	常数项 c	经济发展 状况 α_1	经济发 展速度 α_2	林业 产值 α_4	人口疏 密程度 β_1	受教育 程度 β_2	降水 γ_1	气温 γ_2	森林 覆盖率 γ_3	森林 投资 μ_1	森林 培育 μ_2
阿拉善盟	84.12	-1.25	-1.00	-1.58	4.96	0.39	-0.26	-1.21	28.35	-0.16	0.22
锡林郭勒盟	-10.28	-0.94	-0.50	1.77	11.91	1.12	0.19	0.01	1.34	0.13	-0.25
兴安盟	6.67	1.98	5.22	-1.35	7.12	2.91	-0.15	1.67	-15.17	-0.85	0.01
乌海市	179.57	0.13	1.63	-2.63	-33.01	-22.69	-0.09	0.68	0.69	0.31	0.06
巴彦淖尔市	-7.99	4.17	5.23	-4.10	-7.43	1.32	-0.25	1.56	2.41	0.50	0.29
鄂尔多斯市	11.12	-1.50	2.38	1.93	-1.72	-1.74	-0.12	-1.67	1.76	0.32	-0.23
包头市	-2.99	-2.02	0.18	0.53	6.89	-0.09	-0.30	0.29	20.45	0.37	-0.22
呼和浩特市	-14.21	0.06	0.53	-1.62	5.68	-4.89	-0.22	-0.16	-1.13	-0.24	0.07
乌兰察布市	137.84	0.89	9.59	-0.95	-49.39	-0.72	0.74	-0.76	-1.01	-0.38	-0.10
赤峰市	-115.12	-0.90	7.25	-0.19	12.92	-6.01	-0.84	-0.84	23.02	0.79	-0.43
通辽市	-120.40	0.06	-8.02	-1.11	39.02	10.65	0.90	4.88	-2.35	0.55	-0.01
呼伦贝尔市	488.45	-3.23	3.59	-2.90	-189.68	-15.01	0.15	-0.36	-4.71	-0.93	-0.03

空间上,内蒙古自治区森林碳汇价值影响因素的关联度总体呈现“东部偏高,中部偏低,西部极端”的特点。其中,中部盟市各项指标的关联度较为接

近,平均值为 0.64,整体表现趋于平稳状态。东部盟市各项指标的平均关联度为 0.67,尤以呼伦贝尔市和兴安盟较为突出,平均关联度达到 0.69;呼伦贝尔市

与森林碳汇价值关联度最高的指标为在节能环保上的一般公共预算支出(0.82),其次是 GDP(0.79),兴安盟关联度最高的指标是 GDP(0.81),林业产值的关联度(0.69)也位居前列;主要由于两地区独特的自然资源特征及其与经济互动的模式,丰富的林草资源为当地发展林业和畜牧业奠定坚实的物质基础,同时政府加大区域生态建设和森林保护力度,重点投向森林质量精准提升工程和碳汇林基地建设,使得森林碳汇价值不断提升。

西部地区的“极端”主要体现在阿拉善盟、乌海市和巴彦淖尔市,其中阿拉善盟的平均关联度为全

区最低,而乌海市和巴彦淖尔市的平均关联度则位于全区前两位;究其原因,阿拉善盟作为中国北方极旱荒漠区核心区,年降水量不足 100 mm,加之区域生态修复工程破碎化特征明显,人工造林存活率低,导致单位面积造林投资力度和规模增加但碳汇量增幅却较少,乌海市作为国家循环经济示范市,近年来通过持续优化产业结构,单位 GDP 能耗下降平均幅度为 20%,同时通过工矿废弃地生态修复,矿区复绿使得碳汇量逐步提高,巴彦淖尔市通过实施“林-田-草”复合经营,并着力打造特色经济林产业,实现碳汇价值与产业收益双提升。

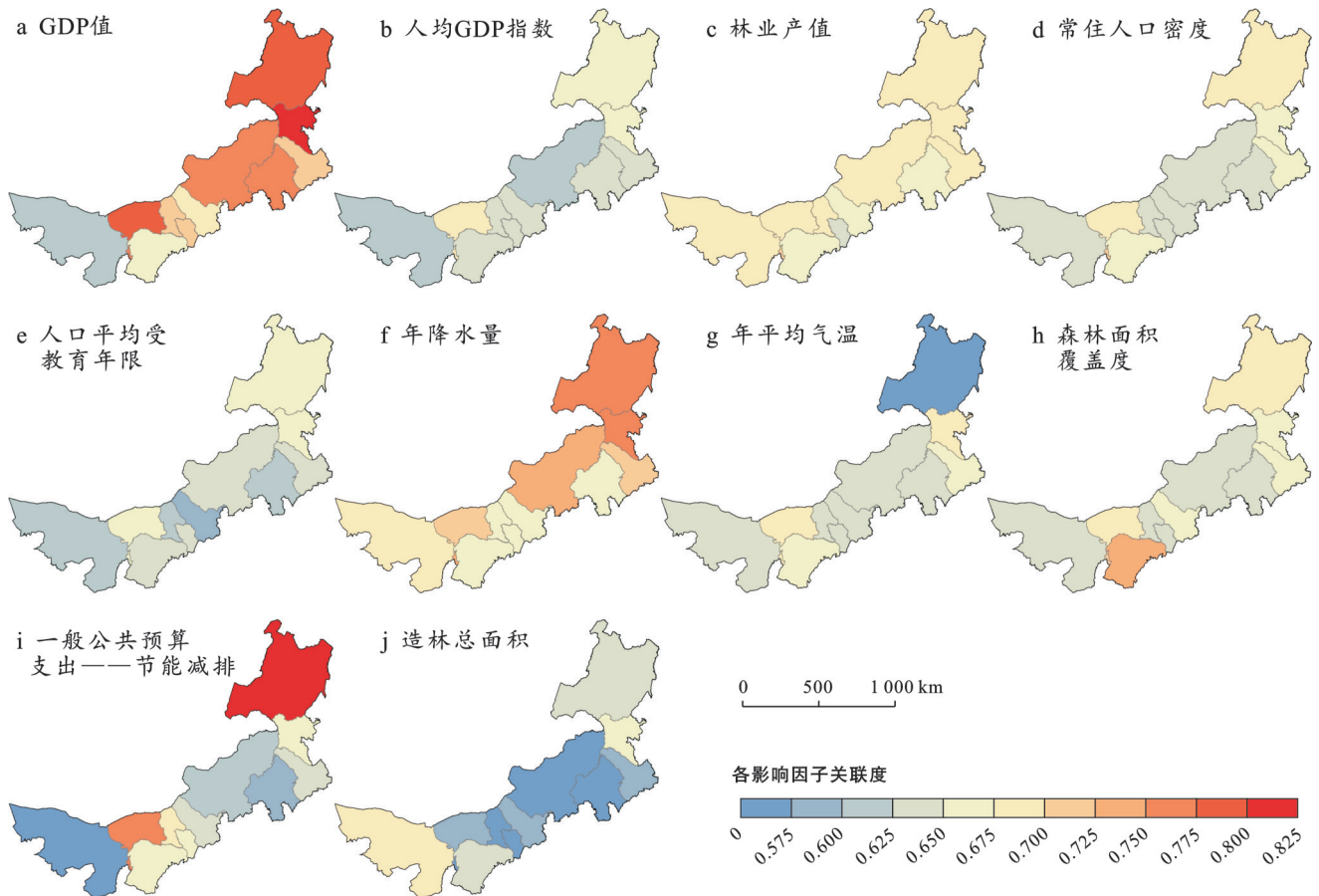


图 4 内蒙古自治区森林碳汇价值影响因素关联程度

Fig.4 Correlation degree of influencing factors on forest carbon sink value in Inner Mongolia Autonomous Region

3 讨论

本文通过核算内蒙古自治区各盟市森林碳汇价值量,揭示其时空变化特征、影响因素和因子关联度,对于推动森林碳汇可持续经营管理和生态产品价值实现具有重要意义。目前,森林碳汇生态产品价值实现过程中存在供给难,核算难,抵押难,交易难,变现难的现实困境^[29],使得森林生态产品转化效果与其蕴藏的巨大价值量不相匹配。内蒙古自治区

是生态资源较为丰富的省区之一,相较于中国生态文明建设先行地区,仍存在生态产品价值实现政策不健全、价值核算起步晚、转化途径较单一等问题,有待从多个维度系统探讨森林碳汇生态产品价值实现的路径。

(1) 聚焦生态产品“度量难”问题探究碳汇价值核算方法是基础,应完善生态产品价值评估体系。2023年,内蒙古自治区将呼伦贝尔市列入自治区开展生态产品价值实现机制试点,率先在大兴安岭重

点国有林区推进林业碳汇开发交易,围绕森林生态产品监测和价值核算机制、碳汇等生态产品市场交易体系、生态产品价值实现保障机制等方面作出积极探索。本研究以碳汇产量和交易损益为切入角度核算森林碳汇价值,考虑视角较为全面,但忽略了社会、经济、生态等维度因素所产生的宏观、中观和微观作用,例如枯损量、经营管理水平等因子^[22]。未来应补充构建可量化,可比较,易操作的非碳效应评估指标体系^[30]。目前,关于森林碳汇内涵的界定和碳汇评估的规范性问题仍存在深入探究的空间,有的学者利用森林固碳总量对碳汇价值进行评估^[31],部分学者则利用森林固碳增量对碳汇价值进行评估^[32],导致评估结果缺乏横纵向可比性、生态产品交易定价缺乏参考标准。随着我国碳交易市场的逐步完善,科学统一的生态产品价值评估体系将成为其价值实现的重要保障。

(2) 提高森林资源的生产力是实现生态产品价值的根本,应健全森林资源全周期管理机制。研究表明森林每增加 1 m^3 蓄积量可同步吸收 1.83 t 的二氧化碳、释放 1.62 t 的氧气,因此提升森林资源的主体生产力是提高森林碳汇生产总值和实现生态产品价值的核心路径。主要措施包括:①依托遥感监测和智能建模技术建立立地质量评价体系,运用林分结构调控、人工林近自然经营等关键技术,实现森林蓄积量提升与碳汇增益的精准调控。②地方政府应强化人才政策创新,依托高校与林业企业共建实践基地,定向培育森林经营工程师,通过提升碳汇产业投资力度、增加科研经费支持标准等激励机制,吸纳森林抚育、改造等专业技术人才。③实施煤化工等高碳产业绿色改造,通过碳汇质押融资、生态权益证券化等绿色工具创新,形成产业转型与生态价值转化的闭环机制。

(3) 建立森林碳汇产业和生态产品开发的支持制度是关键,依据区域差异性探索多元化生态产品价值实现模式。内蒙古自治区各盟市森林碳汇量和价值量在时空格局上差异较大,各因素对不同盟市森林碳汇价值的正负效应与影响程度呈现显著的空间异质性,应根据区域分布特征实行分区管理,针对性地制定政策以推动森林碳汇生态产品发展。东部盟市可依托大兴安岭林区,建立林业碳票数字化交易平台,优先开发经济林碳汇项目,通过生态权益交易、资源产权流转、资源配额交易、生态产品融资等方式促进森林碳汇生态产品价值实现,并同步实施森林抚育补贴与碳汇收益挂钩机制;中西部是黄河流域建设规划的重点区域,应建立健全生态补偿、损

害赔偿和转移支付制度,通过实施“山水林田湖草沙”综合治理工程,建立碳汇项目储备库,重点开发退化林修复碳汇产品,逐步推动高耗能企业实施“碳汇林配额交易”。

4 结论

(1) 2009—2023年内蒙古自治区各盟市森林碳汇量均实现显著增长,总增幅大部分介于 $160.00\%\sim 200.00\%$,各盟市森林碳汇量在全国第八次森林清查周期(2009—2013年)和第九次森林清查周期(2014—2018年)的分界年份(2014年)出现显著增加,增幅均超过 120.00% ,凸显全国森林资源清查周期衔接阶段的政策驱动效应和制度性调控作用。总体上,东部盟市依托资源优势保持稳定增长,中部盟市通过退耕还林等生态建设实现 200.00% 及以上的持续增长,西部盟市碳汇增长速率差异较大,部分盟市在生态修复和新能源产业布局中形成快速增汇格局。

(2) 2009—2023年内蒙古自治区各盟市森林碳汇价值存在波动但整体呈现显著上升趋势,且在研究周期分界年份2014年和2019年变化幅度较大。内蒙古自治区森林碳汇价值分布具有明显的空间集聚和空间非均衡特征,总体呈由东向西逐渐减少的变化格局,高值区主要集中于东部地区,尤以东北部的盟市最高,低值区基本位于西部地区,在南北方向则呈“东部北高南低,中部由南北两端向中部递减,西部由西北向东南递减”的空间格局。

(3) 经济、社会、生态和政策干预子系统共同驱动内蒙古自治区森林碳汇价值变化,但是由于各盟市地理位置、产业结构、政策导向、林龄结构等的不同,各因素的作用方式和影响程度具有显著的空间异质性。其中,乌海市、巴彦淖尔市、兴安盟和呼伦贝尔市的指标关联程度较大,阿拉善盟、呼和浩特市和赤峰市的指标关联度较小。关键影响因素包括经济发展状况、降水、林业产值、森林覆盖度和森林投资规模,其关联度在 0.70 以上的频次较高;造林总面积、气温和受教育程度的关联度具有明显的地域分异性。

参考文献(References)

- [1] 谭荣.生态产品的价值实现与治理机制创新[J].中国土地,2021(1):4-11.
Tan Rong. Value realization and governance mechanism innovation of ecological products [J]. China Land, 2021 (1):4-11.
- [2] 曹恒,王弟,赵鹏.山西省森林碳汇经济价值评估及交易评价体系构建研究[J].经济问题,2023(7):120-128.

- Cao Heng, Wang Di, Zhao Peng. Evaluation of economic value of forest carbon sequestration and construction of carbon sequestration trade evaluation system in Shanxi Province [J]. *On Economic Problems*, 2023(7): 120-128.
- [3] 徐思若,成志影,那雪迎,等.黑龙江省森林碳汇及其经济价值的变化分析与潜力预测[J]. *生态学杂志*, 2024, 43(1):197-205.
- Xu Siruo, Cheng Zhiying, Na Xueying, et al. Change and potentiality prediction of forest carbon sink and its economic value in Heilongjiang Province [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2024, 43(1):197-205.
- [4] Shi Xiaoliang, Wang Tielong, Lu Shuaiyu, et al. Evaluation of China's forest carbon sink service value [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(29):44668-44677.
- [5] 郗婷婷,李顺龙.黑龙江省森林碳汇潜力分析[J]. *林业经济问题*, 2006, 26(6):519-522.
- Xi Tingting, Li Shunlong. Analysis of forestry carbon mitigation potential in Heilongjiang Province [J]. *Problems of Forestry Economics*, 2006, 26(6):519-522.
- [6] Zhao Jing, Hu Hui, Wang Jinglei. Forest carbon reserve calculation and comprehensive economic value evaluation: A forest management model based on both biomass expansion factor method and total forest value [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(23):15925.
- [7] 毕君,王超,尤海舟.基于温室气体清单的河北省森林碳汇量研究[J]. *生态科学*, 2016, 35(4):113-118.
- Bi Jun, Wang Chao, You Haizhou. Forest carbon sequestration estimation based on Greenhouse Gases Inventory in Hebei Province [J]. *Ecological Science*, 2016, 35(4): 113-118.
- [8] 刘艳丽.森林碳汇计量关键技术应用研究[J]. *林业勘察设计*, 2023, 52(2):86-90.
- Liu Yanli. Research on the application of key technologies for forest carbon sink measurement [J]. *Forest Investigation Design*, 2023, 52(2):86-90.
- [9] 张峰,彭祚登.北京市森林碳储量和碳汇经济价值研究[J]. *林业资源管理*, 2021(6):52-58.
- Zhang Feng, Peng Zuodeng. Biomass carbon stocks and carbon stock economic value of forests in Beijing [J]. *Forest Resources Management*, 2021(6):52-58.
- [10] 张颖,易爱军.承德市森林碳汇价值核算及其相关问题研究[J]. *创新科技*, 2022, 22(5):83-92.
- Zhang Ying, Yi Aijun. Forest carbon sink value accounting and related issues study in Chengde City [J]. *Innovation Science and Technology*, 2022, 22(5):83-92.
- [11] 周建力,王雅琪,徐子瀚,等.中国森林碳汇效率测度、总量预测与资源配置[J/OL]. *环境科学*, <https://doi.org/10.13227/j.hjkk.202501123>.
- Zhou Jianli, Wang Yaqi, Xu Zihan, et al. Measurement of efficiency, total volume prediction, and resource allocation for China's forest carbon sink [J/OL]. *Environmental Science*, <https://doi.org/10.13227/j.hjkk.202501123>.
- [12] 段园凯,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 Yuankai, Liang Liutao, Gao Pan, 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.
- [13] 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 Xiansheng, Chen Shaozhi, Zhao Rong. 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.
- [14] 蔡为民,王燕秋,林国斌,等.基于“资源-资产-资本-资金”转化路径的森林碳汇价值实现机制[J]. *中国人口·资源与环境*, 2024, 34(3):60-67.
- Cai Weimin, Wang Yanqiu, Lin Guobin, et al. Value realization mechanism of forest carbon sink based on the transformation path of 'resource-asset-capital-fund' [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2024, 34(3):60-67.
- [15] Fu Yue, Xiong Kangning, Yan Jiawang, et al. Mechanisms and paths for realizing the value of karst ecological products in Hebei Province [J]. *Sustainable Development Research*, 2025, 7(1):p73.
- [16] Shao Jingbo, Cai Chengzhi. Influential mechanism of green consumption on the realization of ecological products value in China [J]. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2025, 8:1460497.
- [17] 秦富仓,赵鹏武,李龙,等.“双碳”背景下提升内蒙古森林碳汇功能的思考[J]. *北方经济*, 2023(2):27-30.
- Qin Fucang, Zhao Pengwu, Li Long, et al. Thoughts on enhancing Inner Mongolia's forest carbon sequestration function under the background of "dual carbon" [J]. *Northern Economy*, 2023(2):27-30.
- [18] 闵庆文,刘寿东,杨霞.内蒙古典型草原生态系统服务功能价值评估研究[J]. *草地学报*, 2004, 12(3):165-169.
- Min Qingwen, Liu Shoudong, Yang Xia. Evaluation of the ecosystem services of the Inner Mongolia steppe [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2004, 12(3):165-169.
- [19] 张秋良,春兰,吴彤,等.内蒙古蛮汉山森林生态系统服务功能的评估[J]. *中南林业科技大学学报*, 2011, 31

- (12):43-48.
Zhang Qiuliang, Chun Lan, Wu Tong, et al. Evaluation for forest ecosystem service functions of Manhan mountain in Inner Mongolia [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2011, 31(12):43-48.
- [20] 郭玉东, 王晓宏, 邢婷婷, 等. 根河林业局森林生态服务功能价值评估[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(5): 196-201.
Guo Yudong, Wang Xiaohong, Xing Tingting, et al. Forest ecological service function value assessment in Genhe of Inner Mongolia [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(5):196-201.
- [21] 张颖, 吴丽莉, 苏帆, 等. 我国森林碳汇核算的计量模型研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(2):194-200.
Zhang Ying, Wu Lili, Su Fan, et al. An accounting model for forest carbon sinks in China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2010, 32(2):194-200.
- [22] 刘梅娟, 朱嘉雯, 裘应萍, 等. 森林碳汇资产价值计量研究[J]. 中国农业会计, 2022(1):50-54.
Liu Meijuan, Zhu Jiawen, Qiu Yingping, et al. Research on the measurement of forest carbon sequestration asset value [J]. Chinese Agricultural Accounting, 2022(1):50-54.
- [23] 李文华, 谢高地, 肖玉, 等. 北京市森林资源资产评估方法体系[R]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2007.
Li Wenhua, Xie Gaodi, Xiao Yu, et al. Beijing forest resource asset evaluation method system [R]. Beijing: Institute of Geographic Sciences and Resources, Chinese Academy of Sciences, 2007.
- [24] 谢高地, 李士美, 肖玉, 等. 碳汇价值的形成和评价[J]. 自然资源学报, 2011, 26(1):1-10.
Xie Gaodi, Li Shimei, Xiao Yu, et al. Value of carbon sink: Concept and evaluation [J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(1):1-10.
- [25] 蔡伟祥, 徐丽, 李明旭, 等. 2010—2060年中国森林生态系统固碳速率省际不平衡性及调控策略[J]. 地理学报, 2022, 77(7):1808-1820.
Cai Weixiang, Xu Li, Li Mingxu, et al. Imbalance of inter-provincial forest carbon sequestration rate (2010—2060) in China and its regulation strategy [J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(7):1808-1820.
- [26] 贯君, 张少鹏, 任月, 等. 中国农业净碳汇时空分异与影响因素演进分析[J]. 中国环境科学, 2024, 44(2): 1158-1170.
Guan Jun, Zhang Shaopeng, Ren Yue, et al. Random forest model-assisted evaluation of spatiotemporal differentiation of China's agricultural net carbon sink and evolution of influencing factors [J]. China Environmental Science, 2024, 44(2):1158-1170.
- [27] 余宗昀, 孙乐, 陈盛伟. 农业保险对农业固碳增效的影响及机制研究[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(9): 263-272.
She Zongyun, Sun Le, Chen Shengwei. Study on the influence and mechanism of agricultural insurance on agricultural carbon sequestration efficiency [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(9):263-272.
- [28] 魏梦升, 颜廷武, 罗斯炫. 规模经营与技术进步对农业绿色低碳发展的影响: 基于设立粮食主产区的准自然实验[J]. 中国农村经济, 2023(2):41-65.
Wei Mengsheng, Yan Tingwu, Luo Sixuan. The impacts of scale management and technological progress on green and low-carbon development of agriculture: A quasi-natural experiment based on the establishment of major grain-producing areas [J]. Chinese Rural Economy, 2023(2):41-65.
- [29] 孙博文. 建立生态产品价值实现机制: “五难”问题及优化路径[J]. 天津社会科学, 2023(4):87-97.
Sun Bowen. To establish the mechanism for realizing ecological product value: Difficulties and optimization paths [J]. Tianjin Social Sciences, 2023(4):87-97.
- [30] 胡原, 成莹, 曾维忠. 中国森林碳汇发展现状、存在问题与政策建议[J]. 生态经济, 2022, 38(2):104-109.
Hu Yuan, Cheng Ying, Zeng Weizhong. Development status, problems and policy suggestions of forest carbon sink in China [J]. Ecological Economy, 2022, 38(2): 104-109.
- [31] 张娟, 陈钦. 森林碳汇经济价值评估研究: 以福建省为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(5): 121-128.
Zhang Juan, Chen Qin. Study on economic value assessment of forest carbon sequestration: Taking Fujian Province as an example [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2021, 43(5):121-128.
- [32] 张颖, 潘静. 森林碳汇经济核算及资产负债表编制研究[J]. 统计研究, 2016, 33(11):71-76.
Zhang Ying, Pan Jing. The research on economic accounting of forest carbon sinks and its balance sheet establishment [J]. Statistical Research, 2016, 33(11): 71-76.