International Journal of Ecology 世界生态学, 2023, 12(4), 413-422
Published Online November 2023 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ije
https://doi.org/10.12677/ije.2023.124050

Hans汉斯

环洞庭湖森林生态系统固碳释氧与土壤保育价值评估

——以常德市为例

何　洋，汪少华*，杨　婷

湖南文理学院经济与管理学院，湖南　常德

收稿日期：2023年10月7日；录用日期：2023年11月8日；发布日期：2023年11月16日

摘　要

森林作为地球陆地上最主要的植被类型之一，不仅创造了适宜生物生存的栖息环境，还孕育了丰富多彩的动植物物种，是人类获取生存资料的主要源泉。基于常德市森林资源的不同种类及特点，建立森林生态系统服务价值评估的指标体系，再运用GIS遥感影视技术、影子工程替代法、市场替代法等方式，计算其吸收二氧化碳、释放氧气、固土和保肥的实物量和价值量，进而核算固碳释氧和土壤保育价值，建立一个部分的森林生态系统服务价值的核算系统。最后得出常德市森林生态系统的固碳价值为77.39亿元/年，释氧价值为5932.38亿元/年，固土价值为32.70亿元/年，土壤营养元素价值量为14522.89亿元/年，保育土壤总价值为14555.59亿元/年。可见，常德市森林生态系统对经济社会发展有着不可或缺的推动作用。

关键词

环洞庭湖，森林生态系统，固碳释氧，土壤保育

Evaluation of Carbon Sequestration, Oxygen Release and Soil Conservation Value of Forest Ecosystem around Dongting Lake

—Taking Changde City as an Example

Yang He, Shaohua Wang*, Ting Yang

College of Economics and Management, Hunan University of Arts and Science, Changde Hunan

*通讯作者。

文章引用: 何洋, 汪少华, 杨婷. 环洞庭湖森林生态系统固碳释氧与土壤保育价值评估[J]. 世界生态学, 2023, 12(4): 413-422. DOI: 10.12677/ije.2023.124050

Received: Oct. 7th, 2023; accepted: Nov. 8th, 2023; published: Nov. 16th, 2023

Abstract

Forest, as one of the most important vegetation types on the earth, not only creates the habit environment suitable for the survival of organisms, but also breeds rich and colorful plant and animal species. It's the main source for humans to obtain survival information. Based on the different types and characteristics of forest resources in Changde City, the index system of forest ecosystem service value assessment was established, and then GIS remote sensing technology, shadow engineering substitution method, market substitution method and other methods were used to calculate the carbon fixation oxygen release and soil conservation value, and establish a part of the accounting system of forest ecosystem service value. Finally, it is concluded that the carbon sequestration value of the forest ecosystem in Changde City is 7.739 billion yuan/year, the oxygen release value is 593.238 billion yuan/year, the soil fixation value is 3.270 yuan/year, the soil nutrient element value is 1455.289 billion yuan/year, and the total value of the conservation soil is 1455.559 billion yuan/year. It can be seen that the forest ecosystem of Changde City plays an indispensable role in promoting economic and social development.

Keywords

Surrounding Dongting Lake, Forest Ecosystem, Carbon Fixation and Oxygen Release, Soil Conservation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

森林具有固碳释氧、土壤保育、调节气候、保持水土、维持生物多样性等功能。森林不仅对于维持全球的能量流动和物质循环具有不可估量的作用，还为人类的生活和经济建设提供多种直接和间接的产品。落实好“绿水青山就是金山银山”的国家政策，说明森林生态系统的服务价值与为人类的生存发展谋福祉有着紧密的联系。“森林资源损失负债”指因毁林开荒等给森林造成的既成损失，主要包括“林地损失”、“林木损失”以及因此形成的“生态服务损失”等[1]。开展自然资源价值核算是践行“两山”理论、实现生态文明体制改革目标的重要基础性工作，是当前我国自然资源管理体制改革的迫切需要[2]。通过森林生态系统各个指标的价值的核算能给森林生态系统定价[3]，让人们清楚地了解到一个森林生态系统所包含的巨大价值，也可以提高人们对于区域森林经营的管理水平，推动生态和经济的可持续发展[4]。

国际上对森林生态系统服务价值核算已经进行了多方面的探索，形成了阶段性理论框架，如《欧洲森林环境与经济综合核算框架 2002》(IEEAF-2002)。我国从 20 世纪 70 年代开始研究森林生态系统服务价值评估，并发布了一系列作品，如《生态系统生产总值(GEP)核算技术规范陆域生态系统》[5]。本文利用现有森林生态系统服务价值核算的体系框架成果，系统梳理和综合分析森林生态系统价值核算的理论基础及评估方法。遵循可操作性、科学性、可比性和独立性原则，根据常德市森林资源特点与实地调查数据，选取适用于常德市的森林生态系统服务价值评估的核算内容、模型方法和计算参数，利用 GIS

技术[6]，从空间量化的角度，实现对常德市的森林生态系统固碳释氧与土壤保育价值评估。明晰森林生态系统不同服务间的关系，有利于区域的利益最大化[7]。

2. 研究区域概括

常德位于湖南北部，江南洞庭湖西侧，武陵山下，史称“川黔咽喉，云贵门户”，是长江经济带、长江中游城市群、环洞庭湖生态经济圈的重要城市。常德市属于亚热带湿润季风气候。气候温暖，四季分明，春秋短，夏冬长；热量丰富，雨量丰沛，春温多变，夏季酷热，秋雨寒秋，冬季严寒。常德市年平均气温 16.7℃，年降水量 1200~1900 毫米。

常德作为全球首批国际湿地城市，积极践行绿水青山就是金山银山，站在人与自然和谐共生的高度谋划发展，逐秀林、绿生态、富口袋，推进林长制从“全面建立”转向“全面见效”，推进林业高质量发展，为徐徐展开的美丽中国画卷绘上浓浓绿意。全市森林覆盖率 48%，全年完成造林面积 1.1 公顷，荒地造林面积 0.8 公顷，年末实有封山(沙)育林面积 1.8 公顷。自然保护区 8 个，面积 19.1 公顷。

3. 研究方法

3.1. 主要数据源

造林面积数据来源于湖南省林业厅项目办各年度统计数据。统计了鼎城区、桃源县和石门县等常德市九个区县，在本文研究中，以柏木、杉木、马尾松、阔叶林、针阔混、毛竹等作为研究对象，计算吸收二氧化碳和释放氧气两项指标的实物量和价值量、固土和保肥实物量，再利用模型方法计算其固碳释氧和土壤保育价值。

3.2. 核算框架和指标体系

如表 1 所示，针对调节服务指标，从固碳释氧评估方向进行森林生态系统调节服务指标构建，包括两项实物量指标：固氮量、释氧量，两项价值量指标：调节水固氮价值、释氧价值，以及森林生态系统支持服务指标构建。针对支持服务指标，从保育土壤这个评估方向进行构建，包括两项实物量指标：固土量、保肥量，两项价值量指标：固土价值、保肥价值。

Table 1. Forest ecosystem service value evaluation index
表 1. 森林生态系统服务价值评估指标

指标类型	评估指标	实物量	价值量
调节服务	固碳释氧	固碳量 释氧量	固碳价值 释氧价值
支持服务	土壤保育	固土量 保肥量	固土价值 保肥价值

3.3. 模型方法及重要参数确定

基于 Costanza 等和谢高地等所采用的单位面积价值当量因子法[8]，我们根据现有的森林生态服务价值评估的研究模型方法，借助 GIS 进行遥感影像处理，得到实物量评估的主要指标参数。利用 CASA 模型得出净初级生产力，进而得出固碳释氧实物量，再用替代市场价值法进行固碳释氧价值量评估[9]；采用通用土壤侵蚀方程(RUSLE)得出固土实物量，再用替代价值法核算固土价值量；计算保肥价值量主要通过影子价格法。主要通过查阅相关评估案例，以及有关权威期刊论文等方式获取。定量评估生态系统

服务价值是人类合理利用和管理生态系统的重要依据，未来气候情景下土地利用变化模拟及其对生态系统服务价值的影响评估对于区域生态系统服务管理、开展生态功能区划及减缓和适应气候变化等方面具有重要意义[10]。

3.3.1. 固碳价值核算

1) 实物量核算：是指吸收二氧化碳指标的实物量，植被固碳量计算公式为：

$$G_{固碳} = 1.63 H_{碳} S C_{年} \tag{1}$$

式中，$G_{固碳}$ 为林分年固碳量(吨)；$H_{碳}$ 为 CO_2 中碳含量；S 为林分面积；$C_{年}$ 为林分净初级生产力。其中净初级生产力是经 CASA 模型利用遥感与地理信息技术计算得到的。

2) 价值量核算：是指吸收二氧化碳指标的价值量，固定二氧化碳价值量采用中国碳汇交易价格进行评估，固碳价值量公式为：

$$U_{固碳} = R_{碳} G_{固碳} \tag{2}$$

式中，$U_{固碳}$ 为林分年固碳价值量(元)；$R_{碳}$ 为固碳价格(元/吨)；$G_{固碳}$ 为林分年固碳量(吨)。固碳价值采用我国碳交易试点省份近年的碳交易价格进行评估，本文的 $R_{碳}$ 使用我国碳交易试点省(市)的碳交易平均价格 36.97 元/吨。

3.3.2. 释养价值核算

1) 实物量核算：是指释放氧气指标的实物量，释氧量计算公式为：

$$G_{氧} = 1.19 S C_{年} \tag{3}$$

式中，$G_{氧}$ 为林分年释放氧气量(吨)；S 为林分面积(hm^2)；$C_{年}$ 为林分净初级生产力。其中净初级生产力是经 CASA 模型计算得到。

2) 价值量核算：是指释放氧气指标的价值量，释放氧气价值量采用替代市场价值法(工业制氧法)进行评估。释氧价值量公式为：

$$U_{释氧} = R_{氧} G_{氧气} \tag{4}$$

式中，$U_{释氧}$ 为释放氧气价值量(元)；$R_{氧}$ 为氧气价格(元/吨)；$G_{氧气}$ 为年释放氧气实物量(吨)。前市场上工业氧平均生产成本为 820 元/吨，医用氧平均生产成本为 1300 元/吨。据此，本文的 $R_{氧}$ 采用两者均价位 1060 元/吨进行评估。

3.3.3. 固土价值核算

1) 实物量核算：现有研究基本均采用通用土壤侵蚀方程(RUSLE)，利用 GIS 处理方法对年土壤侵蚀量进行预测估算。土壤保持服务物质量为土壤潜在侵蚀量与现实侵蚀量之差，模型公式为：

$$\begin{cases} Q = MNBDYX \\ Q_C = Q_P - Q \\ Q_P = MNBD \end{cases} \tag{5}$$

式中，Q 为单位面积土壤保持量；M 降雨侵蚀力因子；N 为土壤可蚀性因子；B、D 为地形坡长坡度因子；Y 为植被覆盖因子；X 为水土保持措施因子；Q_P 为单位面积潜在土壤侵蚀量；Q_C 为单位面积现实土壤侵蚀量。其中土壤可蚀性 N 值参考常德市土壤基础数据。

2) 价值量核算：固土价值量用替代价值法估算，公式为：

$$S = Q_C R_O \tag{6}$$

式中，S 为固土价值总量(元)；Q_C 为单位面积现实土壤侵蚀量；R_O 为挖取或拦截 1 cm^2 泥沙的费用，本文评估设定挖取单位面积土方费用为 23.35 元/m^3。

3.3.4. 保肥实物量

1) 实物量核算：基于固土实物量，折算成相应的化肥量估算。保肥量主要测算土壤中有机质、氮、磷、钾实物量。公式为：

$$\begin{aligned} SY &= QN\left(Q_P - Q\right)Y\% \\ SN &= QN\left(Q_P - Q\right)N\% \\ SP &= QN\left(Q_P - Q\right)P\% \\ SK &= QN\left(Q_P - Q\right)K\% \end{aligned} \tag{7}$$

式中，SY SN SP SK 分别表示有机质、氮、磷、钾实物量(吨)；$Y\%$、$P\%$、$K\%$分别为各类型土壤中有机质、氮、磷和钾的含量。

2) 价值量核算：采用影子价格法，根据土壤中氮、磷和钾的含量，土壤保持量，化肥平均价格，计算测算出土壤中氮、磷、钾的平均含量。计算公式为：

$$F_e = \sum Q_C H_i P_i \tag{8}$$

式中，$\sum Q_C$ 为固土实物量(吨/hm^2 • 年)；H_i 为土壤中氮、磷、钾的纯含量；P_i 为化肥的价格(元/吨)。保肥量中的土壤养分含量参照中国科学院南京土壤研究所土壤科学数据中心(http://data.issas.ac.cn/)，选取常德市基本土壤信息数据，主要用于计算土壤有机质含量、土壤氮含量、土壤磷含量、土壤钾含量。保肥价值采用侵蚀土壤中的主要营养元素氮、磷、钾和有机质量折合成磷酸二铵、氯化钾和有机质的价值体现。

4. 结果与分析

4.1. 常德市森林生态系统服务价值分布

常德市固碳量为 2.09 亿吨/年，释放氧气量为 5.60 亿吨/年，固碳释氧实物量 7.69 亿吨/年；固碳价值为 77.39 亿元/年，释氧价值为 5932.38 亿元/年，固碳释氧价值量 6009.78 亿元/年。总体上高值主要分布在石门县、桃源县和鼎城区三个区域，植被类型以杉木、针阔混、阔叶林和马尾松为主。具体情况如图 1 所示。因为通过构建价值转移函数，有效控制了研究地和政策地在自然地理环境、社会经济环境、评估流程等方面的差异，节约了评估成本和评估时间，同时也保证了评估结果的一致性[11]。

常德市森林生态系统固土总量为 1.53 亿吨/年，保育土壤实物量为 4.91 亿吨/年，固土价值为 32.70 亿元/年，土壤营养元素价值量为 14,522.89 亿元/年，保育土壤总价值为 14,555.59 亿元/年，积累营养物质循环：土壤有机质含量为 2.90 万吨/年，固氮量 1173.4 万吨/年，固磷量 564 万吨/年，固钾量 3.2 亿吨/年。总体上高值仍主要分布在石门县、桃源县和鼎城区三个区域，植被类型以杉木、针阔混、阔叶林和马尾松为主。具体情况如图 2 所示。

4.2. 常德不同区县的森林生态系统服务物质量

在常德市森林生态系统中，年固碳量、释氧量、固碳释氧实物量、固土量、等物质量中最高的地区都是石门县。石门县固碳释氧实物量高达 27,211.2 万吨/年，占常德市森林生态系统总固碳释氧实物量的 35.38%；固土量为 7846.8 万吨/年，占常德市森林生态系统总固土量的 51.29%；保育土壤实物量为 19,277.7

万吨/年，占常德市森林生态系统总保育土壤实物量的 39.26%。常德市武陵区和安乡县在森林生态系统服务中各物质量占比均不超过 1%。各地区在固碳释氧实物量中年固碳量均小于释氧量；保育土壤物质量中固钾量占比最高，其次是固土量、固土壤有机质量、固氮量，固磷量最少，常德市森林生态系统的总固钾量为 3.2 亿吨/年，总固土量、固土壤有机质量、固氮量、固磷量分别为 1.53 亿吨/年、2.9 万吨/年、1173.4 万吨/年、564 万吨/年。具体情况如表 2 所示。

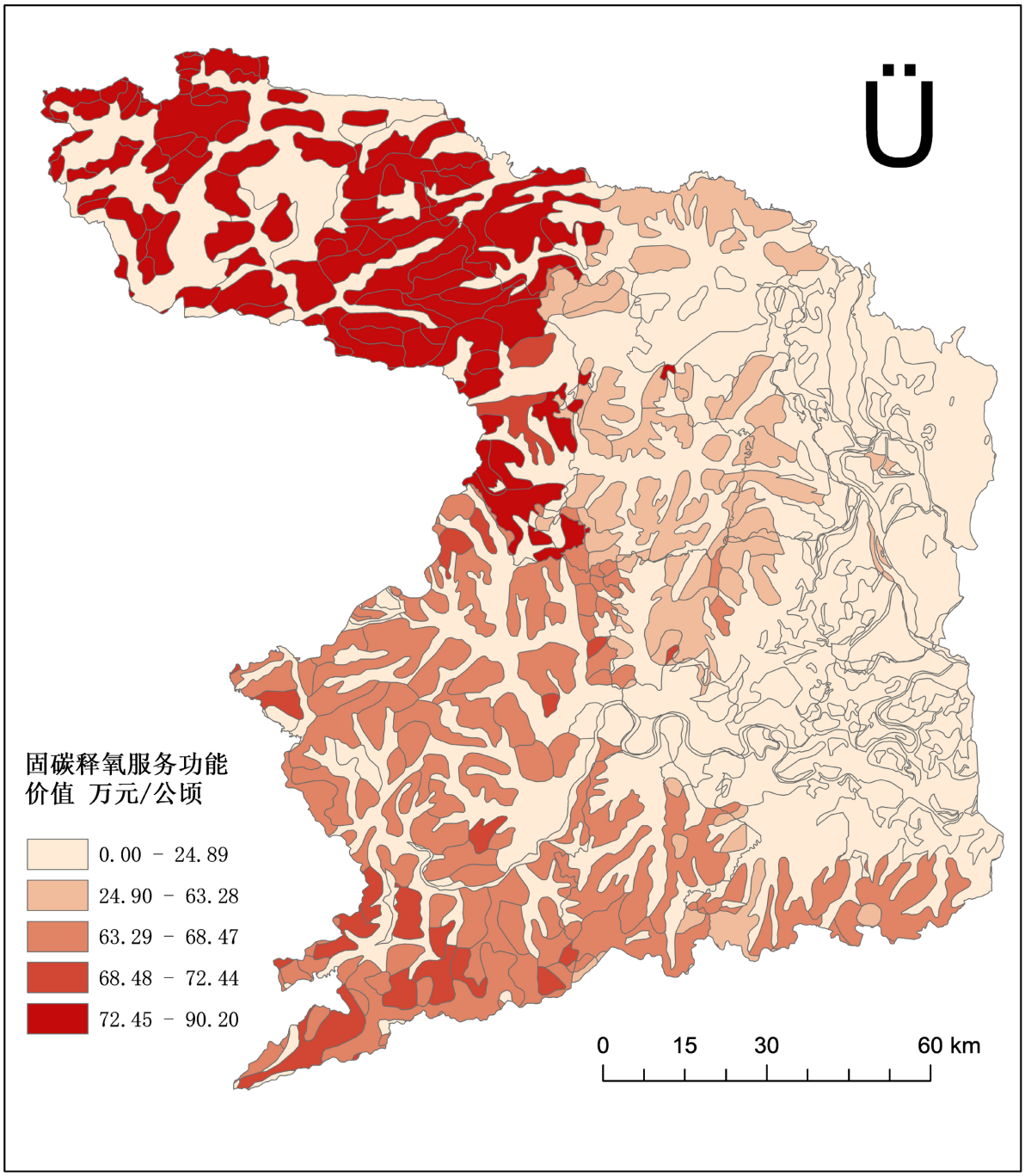

Figure 1. Distribution of ecological service value for carbon sequestration and oxygen release
图 1. 固碳释氧生态服务价值分布图

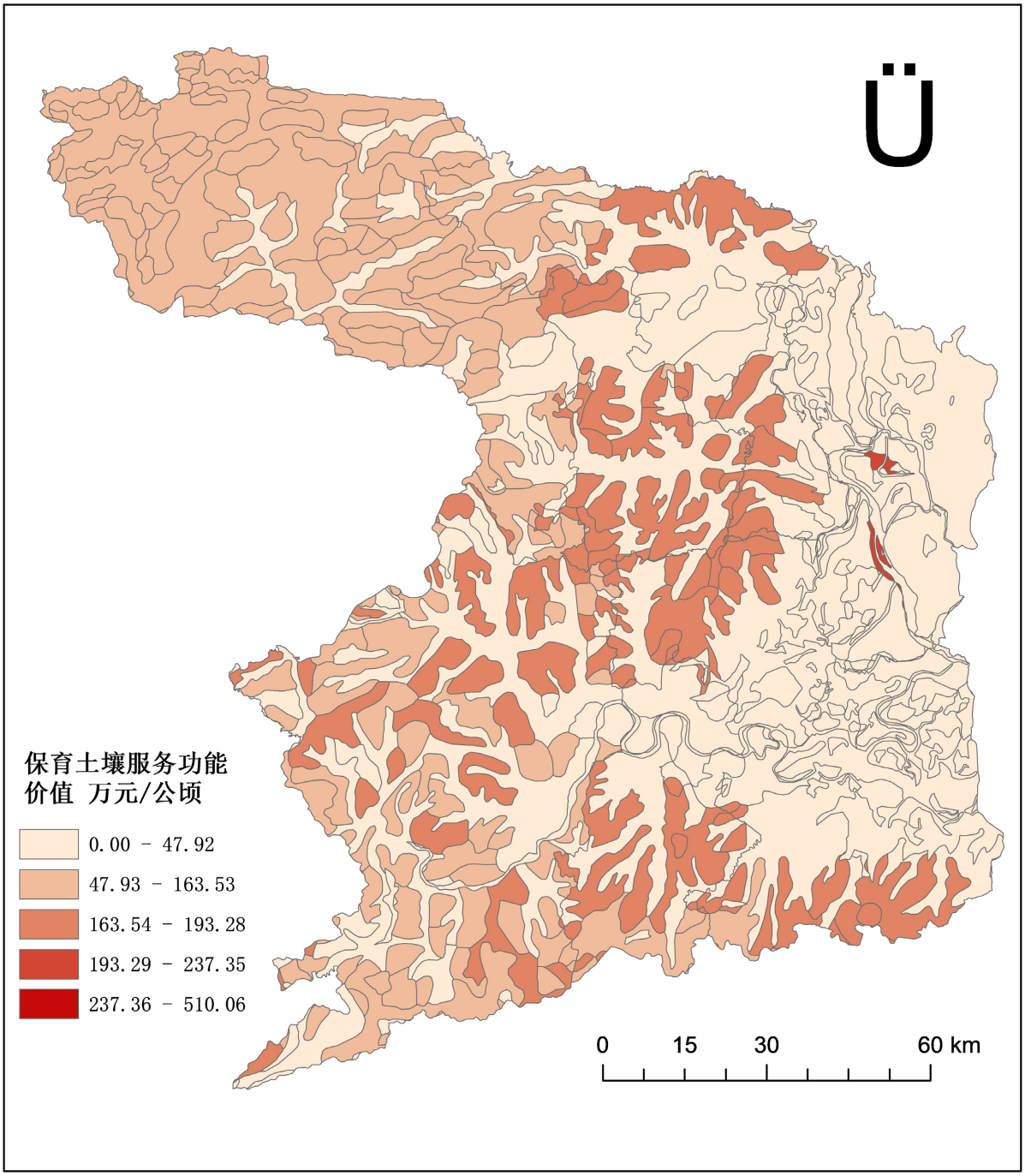

Figure 2. Distribution of ecological service value of conservation soil
图 2. 保育土壤生态服务价值分布图

Table 2. Quality table of forest ecosystem services in different districts and counties of Changde (10 thousand tons/year)
表 2. 常德不同区县的森林生态系统服务物质量表(万吨/年)

区县	年固碳量	释氧量	固碳释氧量	固土量	土壤有机质含量	氮含量	磷含量	钾含量	保育土壤实物量
武陵区	43.2	115.7	159.0	14.6	0.0	3.1	1.8	88.8	108.3
桃源县	6812.5	18174.3	24986.8	4503.0	0.9	360.1	170.5	9624.3	14658.8

Continued

石门县	7402.0	19809.1	27211.2	7846.8	1.4	403.1	178.3	10848.2	19277.7
临澧县	1386.9	3711.6	5098.6	763.4	0.2	86.3	46.3	2532.2	3428.4
澧县	1790.4	4791.5	6581.9	899.1	0.2	90.5	48.4	2587.3	3625.5
津市市	410.9	1099.6	1510.5	177.3	0.0	29.5	17.3	878.4	1102.5
汉寿县	994.2	2660.6	3654.8	292.1	0.1	64.7	33.6	1798.3	2188.8
鼎城区	2039.4	5457.8	7497.2	817.9	0.2	131.2	63.9	3548.4	4561.5
安乡县	54.4	145.6	200.0	1.0	0.0	4.8	3.8	141.2	150.8

4.3. 常德不同区县的森林生态系统服务价值量

生态系统价值量可以直观地展示生态系统服务的价值。在常德森林生态系统服务中，石门县在固碳释氧价值量、土壤营养元素价值量、固土价值量等价值量均最高，固碳释氧价值量为 2127.13 亿元/年，占常德市总固碳释氧价值量的 35.39%；固土价值量为 16.75 亿元/年，占常德市总固土价值量的 51.24%；土壤营养元素价值量为 4917.33 亿元/年，占常德市总土壤营养元素价值量的 33.86%。常德市武陵区和安乡县在森林生态系统服务中各物质量占比均不超过 1%。各地区在固碳释氧价值量中年固碳量均小于释氧量，常德市年总释氧价值量约为固碳价值量的 77 倍。常德市各地区的年土壤营养元素价值量近似等于保育土壤价值量。具体情况如表 3 所示。

Table 3. Forest ecosystem service value in different districts and counties of Changde (100 million yuan/year)
表 3. 常德不同区县的森林生态系统服务价值量表(亿元/年)

区县	固碳价值量	释氧价值量	固碳释氧价值量	固土价值量	土壤营养元素价值量	保育土壤价值量
武陵区	0.2	12.3	12.4	0.0	40.2	40.2
桃源县	25.2	1926.5	1951.7	9.6	4371.4	4381.0
石门县	27.4	2099.8	2127.1	16.8	4917.3	4934.1
临澧县	5.1	393.4	398.6	1.6	1140.6	1142.2
澧县	6.6	507.9	514.5	1.9	1168.7	1170.6
津市市	1.5	116.6	118.1	0.4	395.7	396.1
汉寿县	3.7	282.0	285.7	0.6	814.5	815.2
鼎城区	7.5	578.5	586.1	1.8	1610.3	1612.1
安乡县	0.2	15.4	15.6	0.0	64.2	64.2

4.4. 常德不同林分类型的森林生态系统服务物质量

在常德森林生态系统服务中，各林分贡献的服务物质量占比大小为：阔叶林 > 马尾松 > 针阔混 > 杉木 > 毛竹 > 柏竹，阔叶林和马尾松固碳释氧实物量分别占常德市固碳释氧实物量的 56.88%和 19.27%，阔叶林和马尾松保育土壤实物量分别占常德市保育土壤实物量的 61.00%和 17.02%。各林分的年释氧量不小于年固碳量，保育土壤物质量中固钾量和固土量均较高，其次是固氮量、固磷量，固土壤有机质量最少，固钾量分别是固氮量、固磷量，固土壤有机质量的 27、57、10947 倍。具体情况如表 4 所示。

Table 4. Forest ecosystem services of different stand types in Changde (10 thousand tons/year)
表 4. 常德不同林分类型的森林生态系统服务物质量表(万吨/年)

类型	年固碳量	释氧量	固碳释氧实物量	固土量	土壤有机质含量	氮含量	磷含量	钾含量	保育土壤实物量
杉木	1596.5	4272.5	58,689.0	1432.2	0.2	52.2	24.8	1418.1	2927.5
柏木	34.1	34.1	68.3	34.8	0.0	2.0	0.9	49.2	86.9
马尾松	4031.7	10,789.6	14,821.4	2239.8	0.4	211.0	101.6	5804.6	8357.5
阔叶林	11,897.7	31,840.4	43,738.1	9700.2	1.9	710.8	332.5	19,207.3	29,952.7
针阔混	2413.3	6458.4	8871.7	952.0	0.1	142.6	79.9	4195.3	5369.9
毛竹	960.6	2570.9	3531.5	956.1	0.3	54.8	24.2	1372.5	2407.9

4.5. 常德不同林分类型的森林生态系统服务价值量

在常德森林生态系统服务中，各林分贡献的服务价值量占比大小为：阔叶林 > 马尾松 > 针阔混 > 杉木 > 毛竹 > 柏竹，阔叶林和马尾松的固碳释氧价值量分别为 3419.07 亿元/年和 1158.61 亿元/年，占常德市总固碳释氧价值量的 56.89%和 19.27%；柏木的土壤营养元素价值量和保育价值量分别为 22.54 亿元/年和 22.62 亿元/年，只占常德市总土壤营养元素价值量和保育价值量的 0.16%和 0.16%。所有林分的固土价值量均低于其他价值量，阔叶林的固土价值量仅有 20.71 亿元/年；所有林分的保育土壤价值量均高于其他价值量，阔叶林的保育土壤价值高达 8731.57 亿元/年。具体情况如表 5 所示。

Table 5. Scale of forest ecosystem service value for different forest stand types in Changde (100 million yuan/year)
表 5. 常德不同林分类型的森林生态系统服务价值量表(亿元/年)

类型	固碳价值量	释氧价值量	固碳释氧价值量	固土价值量	土壤营养亿元素价值量	保育土壤价值量
杉木	5.9	452.88	458.78	3.06	642.9	645.96
柏木	0.13	3.62	3.74	0.07	22.54	22.62
马尾松	14.91	1143.7	1158.61	4.78	2628.35	2633.13
阔叶林	43.99	3375.08	3419.07	20.71	8710.86	8731.57
针阔混	8.92	684.59	693.51	2.03	1890.65	1892.68
毛竹	3.55	272.51	276.06	2.04	627.59	629.63

5. 结语

本文利用现有森林生态系统服务价值核算的理论基础及评估方法，根据常德市森林资源特点与实地调查数据，利用 GIS 技术，实现对常德市的森林生态系统固碳释氧与土壤保育价值评估。在评估过程中遵循可操作性和科学性原则，量化常德市森林生态系统的价值，让人们通过直观的数值了解价值的大小以及分布情况，为保护森林资源和持续高效地发挥更大的森林生态系统服务功能提供依据，促进社会经济与生态系统的协调发展，进一步推动可持续发展。研究不足之处在于评估体系的不全面，只选取了固碳释氧和土壤保育两个部分；在此基础上指出未来相关研究应该更加侧重于跨学科、多种方法相结合、从中小尺度精细化评估森林生态系统服务价值，以提高政策管理的有效性[12]。选取的参数只能参考过去一段时间的数据，可能不具有代表性；价值的评估方法和技术方面有待完善，能建立更全面、更完善、更合理的常德市森林生态系统价值评估体系。

基金项目

常德市社会科学成果评审委员会项目(CSP23YC41)；湖南省社会科学成果评审委员会项目(“环洞庭湖区森林生态系统服务多尺度价值评估”)。

参考文献

[1] 袁继安，宁晨，田大伦. 湖南省优势树种森林资源资产负债表编制研究[J]. 生态学报, 2019, 39(19): 7283-7294.

[2] 王宏伟，刘建杰，景谦平，等. 森林资源价值核算体系探讨[J]. 林业经济, 2019, 41(8): 62-68.

[3] 袁昆昆. 基于能值分析的南湾湖风景区生态系统服务功能价值评估[D]: [硕士学位论文]. 泉州：华侨大学, 2014.

[4] 朱颖，吕洁华. 国内森林生态系统服务价值评估方法与指标研究综述[J]. 林业经济, 2015, 37(8): 74-84.

[5] 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[J]. 测绘通报，2022(1): 139-144.

[6] 温玉玲，张小林，魏佳豪，等. 鄱阳湖环湖区生态系统服务价值时空变化及权衡协同关系[J]. 地理科学，2022, 42(7): 1229-1238.

[7] 杨凯，曹银贵，李胜鹏，等. 晋北典型矿农城复合区生态系统服务价值权衡与协同[J]. 生态学报，2022，42(23): 9857-9870.

[8] 魏佳豪，温玉玲，龚志军，等. 近 30 年鄱阳湖滨岸缓冲带土地利用变化及生态系统服务价值[J]. 生态学报, 2022, 42(22): 9261-9273.

[9] 陈朝祖，罗振新，吴秋莲，等.环洞庭湖防护林生态服务价值评估[J].湖南林业科技, 2010, 37(6): 10-14.

[10] 张莉金，白羽萍，胡业翠，等. 不同 SSP-RCP 情景下中国生态系统服务价值评估[J]. 生态学报，2023，43(2): 510-521.

[11] 邬紫荆，曾辉. 基于 Meta 分析的中国森林生态系统服务价值评估[J]. 生态学报, 2021, 41(14): 5533-5545.

[12] 潘鹤思，李英，陈振环. 森林生态系统服务价值评估方法研究综述及展望[J]. 干旱区资源与环境，2018，32(6): 72-78.