

基于GIS的湖南省水土保持服务功能 重要性时空分布特征

谢红娟, 杨彩红

(甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: [目的] 探讨湖南省水土保持服务功能的时空变化规律, 旨在为湖南省水土保持服务功能评估及制定区域生态综合治理方案提供科学依据。[方法] 选择 NPP 植被净初级生产力、DEM 高程、土壤质地分布 3 个因子, 采用 NPP 定量指标评估模型, 通过 ArcGIS 开展了湖南省 2000、2005、2010、2015、2020 年水土保持服务功能的时空分布特征的研究。[结果] ① 湖南省 2000—2020 年植被净初级生产力平均值为 $4.39\sim 334.52\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ (以 C 计) 之间, 在时间上呈上升趋势。在空间上, 植被净初级生产力平均值呈现中间较高且向四周递减的变化趋势; 海拔高程介于 $-12\sim 2\ 081\text{ m}$ 之间, 呈现西高东低的趋势, 西部区域起伏较大, 东部区域相对平缓; 坡度介于 $3.3^\circ\sim 76.7^\circ$ 之间, 呈现西高东低的趋势; 土壤可蚀性值介于 $0.011\sim 1.411$ 之间, 土壤可蚀性呈现中间低四周高的趋势, 由中心区域向四周扩散并提高。② 湖南省 2000—2020 年水土保持量介于 $8.75\sim 185.97\text{ t}/\text{hm}^2$ 之间, 在时间上呈上升趋势, 在空间上以一般重要区和重要区为主, 一般重要区面积随时间变化呈下降趋势, 重要区面积随时间呈上升趋势, 极重要区面积随时间呈下降趋势。水土保持服务功能随时间由一般重要区、极重要区向重要区过渡。[结论] 植被净初级生产力呈上升趋势, 是导致水土保持服务功能上升的主要原因。

关键词: GIS; 植被净初级生产力; 水土保持服务功能; 湖南省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)06-0248-08

中图分类号: S157, X171.4

文献参数: 谢红娟, 杨彩红. 基于 GIS 的湖南省水土保持服务功能重要性时空分布特征[J]. 水土保持通报, 2024, 44(6): 248-255. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2024.06.026; Xie Hongjuan, Yang Caihong. Spatial and temporal distribution characteristics of service function importance of soil and water conservation in Hunan Province based on GIS [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(6): 248-255.

Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Service Function Importance of Soil and Water Conservation in Hunan Province Based on GIS

Xie Hongjuan, Yang Caihong

(College of Forest, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: [Objective] The temporal and spatial variations in the soil and water conservation service functions in Hunan Province were explored, in order to provide a scientific basis for evaluating these functions and formulating a regional ecological management plan. [Methods] Three factors of net primary productivity (NPP) of vegetation, digital elevation model elevation, and soil texture distribution were selected, and the spatial and temporal distribution characteristics of soil and water conservation service functions in Hunan Province were studied based on ArcGIS for the years 2000, 2005, 2010, 2015, and 2020 using the NPP quantitative index evaluation model. [Results] ① From 2000 to 2020, the average net primary productivity of vegetation in Hunan Province ranged from 4.39 to $334.52\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ (calculated by C), showing an upward trend over time. Spatially, the average net primary productivity was higher in the middle and decreasing

收稿日期: 2024-08-16

修回日期: 2024-09-28

第一作者: 谢红娟(1985—), 女(汉族), 湖南省永州市人, 在职硕士研究生, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。Email: xiehongjuan2024@163.com。

通信作者: 杨彩红(1981—), 女(汉族), 甘肃省白银市人, 教授, 博士, 主要从事水土保持与荒漠化防治方面的研究。Email: 13045484850@163.com。

towards the edges. The elevation varied from -12 to $2,081$ m, exhibiting a trend of being high in the west and low in the east, with significant fluctuations in the west and relatively gentle terrain in the east. The slope ranged from 3.3° to 76.7° , showing a trend of being higher in the west and lower in the east. The soil erodibility values ranged from 0.011 to 1.411 , indicating that soil erodibility tends to be low in the middle and high towards the edges, spreading and improving from the central area to surrounding regions. ② From 2000 to 2020, the amount of soil and water conservation in Hunan Province ranged from 8.75 to 185.97 t/hm², demonstrating an upward trend over time, primarily in general important and important regions. The area of general important region showed a downward trend over time, while the area of important region showed an upward trend, and the area of extremely important regions exhibited a downward trend. The service function of soil and water conservation transitioned from generally important and extremely important regions to important regions over time. [Conclusion] The increase in net primary productivity of vegetation is the primary reason for the enhancement of soil and water conservation service functions.

Keywords: geographic information system (GIS); net primary productivity of vegetation; soil and water conservation service function; Hunan Province

水土保持是指对自然因素和人为活动造成水土流失所采取的预防和治理措施^[1]。水土保持服务功能是指在保持环境的基础上,而进行水土流失的治理,对水土流失具有保护功能^[2]。近年来,水土保持服务功能受到众多学者的热切关注。刘征^[3]对河北省水生态系统服务功能重要性进行评价,将水生态系统重要性分为 4 级,并提出分区保护措施;徐文秀等^[4]结合文献资料、统计年鉴、径流小区观测及实地调研等数据,对湖南省永顺县进行水土保持服务价值估算;陈珊珊等^[5]以商洛市为研究对象,采用 INVEST 模型从水文角度对土壤保持进行生态系统服务功能定量评估及空间异质性分析。高旺盛等^[6]对黄土高原生态系统服务功能重要性进行研究,结果表明生态环境脆弱区的生态系统服务功能不足以维持系统的自我循环,导致生态环境恶化趋势日趋严重。科学分析该地区生态系统服务的现状与不足,并采取科学合理可行的生态系统恢复对策,为生态—经济系统的协调可持续发展提供生态保障。余新晓等^[7]以水土保持学、生态学和生态经济学理论为指导,采用市场价值法、影子工程法、生产成本法、机会成本法等方法,对保持和涵养水源价值、保持和改良土壤价值、固碳供氧价值、净化空气价值、防风固沙价值、维持生物多样性价值等 6 个方面进行研究,通过分析得出,保持与改良土壤和保持与涵养水源的价值最为突出。马文银^[8]以湖南省邵阳市为研究对象,采用机会成本法,影子价格法,替代工程法等研究方法,估算了邵阳市森林水土保持服务功能价值。结果表明,邵阳市森林水土保持服务功能总价值为 2.87×10^9 元/a,其中减轻泥沙淤积功能价值为 5.60×10^7 元/a,减少土地废弃功能价值为 3.40×10^6 元/a,保持土壤肥力功能价值为 2.81×10^9 元/a。刘金巍等^[9]基于遥感影像

数据,从上游、中游以及整个区域的角度综合评价了该区域的水源涵养和土壤保持生态系统服务功能物质质量变化。研究结果由于上游山区林地面积的增加,植被覆盖下土壤的水源涵养量显著增加,土壤贮水量增加了 7.64×10^9 t。土壤保持量 1.86×10^8 t 增加到 1.90×10^8 t,主要原因是草地转化为林地。在气候变化背景下,黑河流域应控制上游地区人工林面积,减少林地蒸腾量,以增加下游可用水量;适当控制中游地区耕地面积的扩张趋势,保证湿地,草地等自然生态系统生态用水量,维持流域山地—绿洲—荒漠系统的稳定,进而持续发挥生态系统土壤保持等功能。上述研究多集中于生态系统服务功能价值评估及为生态区划提供科学建议,而针对定量化的水土保持服务功能时空分布特征的相关研究较少,这在一定程度上阻碍了对量化识别水土保持服务功能时空分布格局的深入认识。

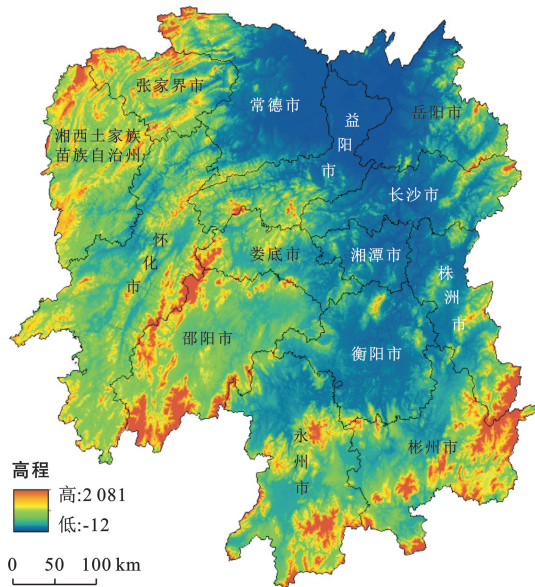
水土流失是中国重点关注的生态问题,根据全国第二次水土流失遥感调查结果,中国 20 世纪 90 年代,水土流失面积为 3.56×10^6 km²^[10],截至 2018 年仍有 2.74×10^6 km² 的土地存在水土流失^[11]。湖南省水资源丰富,以湘资沅澧为主的 4 条干流覆盖全域,域内水土流失对湖南省生态安全格局构建和经济发展造成严重威胁。湖南省湘资沅澧治理区作为国家级水土流失重点治理区,定量识别区域水土保持服务功能,并探讨其时空分布规律,对该区水资源合理利用,控制区域水土流失等生态问题具有重要意义。然而,目前关于湖南省水土保持服务功能方面的研究多集中于单一针对研究时段进行水土保持服务功能价值估算,而关于量化识别水土保持服务功能时空分布特征等相关研究未见报道。因此,本研究以湖南省全域作为研究对象,通过收集多年 NPP 植被净初

级生产力平均值、DEM 高程数据、土壤数据等多元数据,探讨 2000,2005,2010,2015,2020 年区域水土保持服务功能时空分布特征,以期为湖南省水土保持服务功能评估及制定区域生态综合治理方案提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

湖南省位于长江中游,洞庭湖以南,南岭以北,湘江贯穿省境南北,故简称湘。地处东经 $108^{\circ}47' - 114^{\circ}15'$,北纬 $24^{\circ}38' - 30^{\circ}08'$,是中国南方丘陵山地带的重要组成部分^[12-13]。共辖 14 个市级行政单元,包括 13 个地级市,1 个自治州,行政区总面积为 $2.12 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。湖南省东、南、西三面环山,中部丘岗起伏,北部湖盆平原展开,沃野千里,形成了朝东北开口的不对称马蹄形(见图 1)。



注:图 1 及本文后续图均基于审图号 GS(2020)4624 号标准地图绘制,底图边界无修改。

图 1 湖南省行政区划及地形图

Fig.1 Administrative zoning and topographic map of Hunan Province

$$K_{\text{EPIC}} = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 m_s (1 - m_{\text{silt}}/100)]\} \times \{m_{\text{silt}} / (m_c + m_{\text{silt}})\}^{0.3} \times \{1 - 0.25 \text{orgC} / [\text{orgC} + \exp(3.72 - 2.95 \text{orgC})]\} \times \{1 - 0.7(1 - m_s/100) / \{(1 - m_s/100) + \exp[-2.51 + 22.9(1 - m_s/100)]\}\} \quad (3)$$

2 结果与分析

2.1 植被净初级生产力时空分布特征

研究区 2000—2020 年植被净初级生产力平均值(以 C 计)介于 $4.39 \sim 334.52 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 之间,在时间上,呈上升趋势,但不显著(见图 2)。2000—2020 年植被净初级生产力平均值上升了 $2.46 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,其中 2005—2010 年上升率最高,上升了 $0.99 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。湖南省 2000 年植被净初级生产力平均值为 332.06

研究区内海拔相差较大,介于 $-12 \sim 2081 \text{ m}$ 。属亚热带季风气候,四季分明,温暖多雨,年平均降水量 $1200 \sim 1700 \text{ mm}$,每年约 140 d 有降水,个别山区可达 200 d 以上。年平均气温在 $16 \sim 18.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,其中:7 月温度最高,在 $26 \sim 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间;1 月气温最低,在 $4 \sim 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间;在极端低温天气,气温低于 $-6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。太阳辐射中等偏少,全年日照时长为 $1250 \sim 1850 \text{ h}$ 。无霜期多为 $260 \sim 310 \text{ d}$,南部无霜期普遍长于北部。

1.2 数据来源

气象数据来源于中国国家气象科学数据中心,空间分辨率 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$;地形数据来源于地理空间数据云,空间分辨率 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$;NPP 数据集来源于中科院资源环境数据云平台,空间分辨率 $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$;以上基础数据为研究提供了数据保障。

1.3 研究方法

参考《生态保护红线划定指南》,湖南省水土保持功能重要性评估方法以生态系统水土保持服务能力指数作为评估指标,计算公式为:

$$S_{\text{pro}} = \overline{\text{NPP}} \times (1 - K) \times (1 - F_{\text{slo}}) \quad (1)$$

式中: S_{pro} 为水土保持服务能力指数; $\overline{\text{NPP}}$ 为多年植被净初级生产力平均值; F_{slo} 为坡度因子; K 为土壤可蚀性因子。

(1) NPP 植被净初级生产力。根据研究区矢量边界数据,将 NPP 数据添加至 ArcGIS 软件中,采用 ArcGIS 软件中 Spatial Analyst 工具条下的按掩膜提取工具,获得研究区 NPP 数据。

(2) F_{slo} 坡度因子。根据研究区高程数据集,采用 ArcGIS 软件中 Spatial Analyst 工具条下的坡度工具,得到研究区坡度栅格图。

(3) K 土壤可蚀性因子。指土壤颗粒被水力分离和搬运的难易程度,主要与土壤质地、有机质含量、土体结构、渗透性等土壤理化性质有关,计算公式为:

$$K = (-0.01383 + 0.51575 K_{\text{EPIC}}) \times 0.1317 \quad (2)$$

$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;2005 年植被净初级生产力平均值为 $332.36 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;2010 年植被净初级生产力平均值为 $333.35 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;2015 年植被净初级生产力平均值为 $333.81 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;2020 年植被净初级生产力平均值为 $334.52 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (见图 3)。

在空间上,研究区植被净初级生产力平均值呈现中间较高且向四周递减的变化趋势,2000—2020 年植被净初级生产力谷值均在研究区北部,以洞庭湖区域为主,峰值在研究区中部及南部。

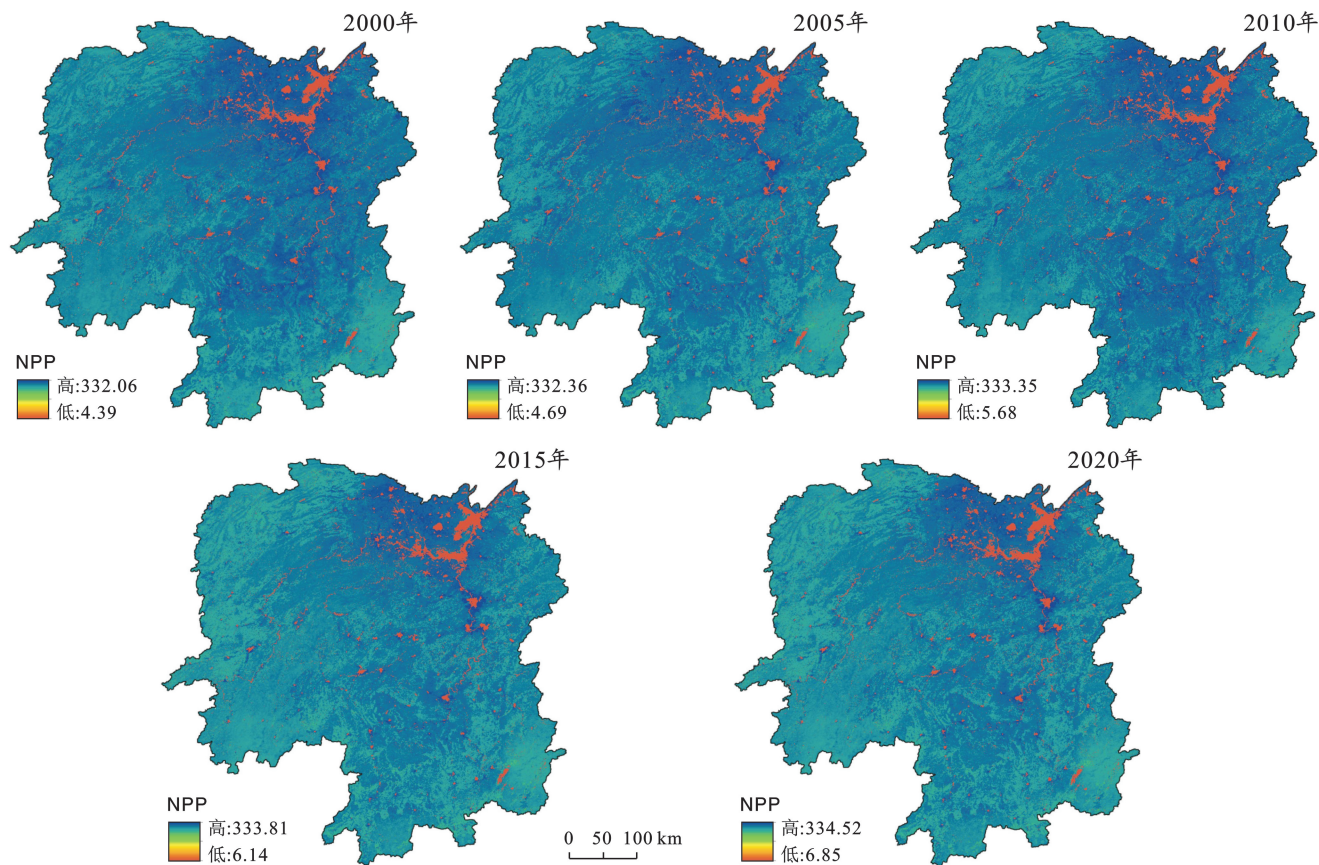


图 2 2000—2020 年湖南省植被净初级生产力时空分布

Fig.2 Spatio-temporal distribution of net primary productivity of vegetation in Hunan Province from 2000 to 2020

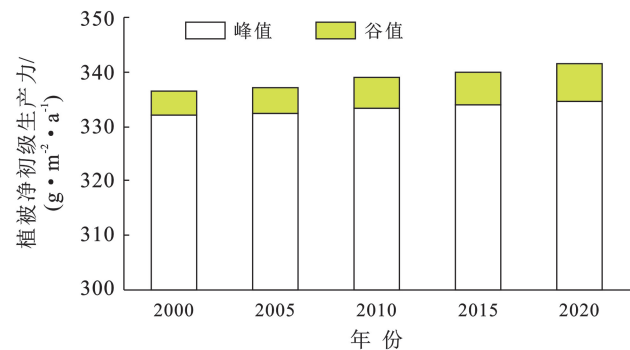


图 3 2000—2020 年湖南省植被净初级生产力值

Fig.3 Net primary productivity of vegetation in Hunan Province from 2000 to 2020

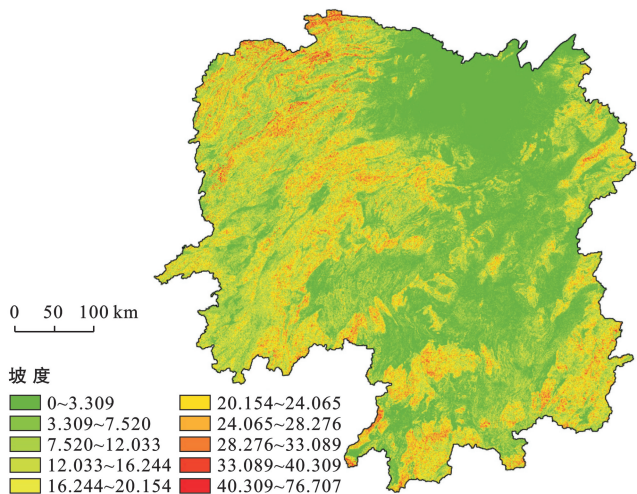


图 4 湖南省坡度空间分布

Fig.4 Slope spatial distribution in Hunan Province

2.2 坡度因子

湖南省高程介于 -12~2 081 m 之间,呈现西高东低的趋势,西部区域起伏较大,东部区域相对平缓(图 4)。高程峰值主要集中在邵阳市、怀化市、永州市,谷值主要集中在常德市域内以及与益阳市交汇区域。14 个地市、州平均高程排序为:株洲市>郴州市>怀化市>邵阳市>常德市>永州市>益阳市>娄底市>长沙市>岳阳市>湘西土家族苗族自治州>衡阳市>湘潭市>张家界市。

湖南省坡度介于 3.3°~76.7°之间,将坡度通过自然断点法分为 10 类,即:[0°, 3.308°) 之间的面积为 4.12 × 10⁴ km²; [3.308°, 7.520°) 之间的面积为 1.64 × 10⁴ km²; [7.520°, 12.030°) 之间的面积为 4.27 × 10⁴ km²; [12.030°, 16.244°) 之间的面积为 3.50 × 10⁴ km²; [16.244°, 20.154°) 之间的面积为 2.38 × 10⁴ km²; [20.154°, 24.065°) 之间的面积为

$1.96 \times 10^4 \text{ km}^2$; $[24.065^\circ, 28.276^\circ)$ 之间的面积为 $1.46 \times 10^4 \text{ km}^2$; $[28.276^\circ \sim 33.089^\circ)$ 之间的面积为 $1.54 \times 10^4 \text{ km}^2$; $[33.089^\circ, 40.309^\circ)$ 之间的面积为 $2.52 \times 10^4 \text{ km}^2$; $[40.309^\circ, 76.707^\circ]$ 之间的面积为 518.78 km^2 (见图 3)。

2.3 土壤可蚀性因子

研究区土壤可蚀性值介于 $0.011 \sim 1.411$ 之间, 土壤可蚀性呈现中间低四周高的趋势, 由中心区域向四周扩散并提高。峰值出现在怀化市北部、张家界市南

部与湘西土家族苗族自治州交汇处, 谷值出现在怀化市北部及中心区域。较高值多分布在研究区南北两端边缘位置及西部中心位置, 较低值多分布在研究区中部。通过自然断点法将研究区土壤可蚀性分为 5 类, 即土壤可蚀性值 $[0.011, 0.047)$ 的面积为 $4.89 \times 10^4 \text{ km}^2$; $[0.047, 0.104)$ 的面积为 $5.66 \times 10^4 \text{ km}^2$; $[0.104, 0.175)$ 的面积 $9.31 \times 10^4 \text{ km}^2$; $[0.175, 0.882)$ 的面积为 $1.17 \times 10^4 \text{ km}^2$; $[0.882, 1.411]$ 的面积为 $1.52 \times 10^3 \text{ km}^2$ (见图 5)。

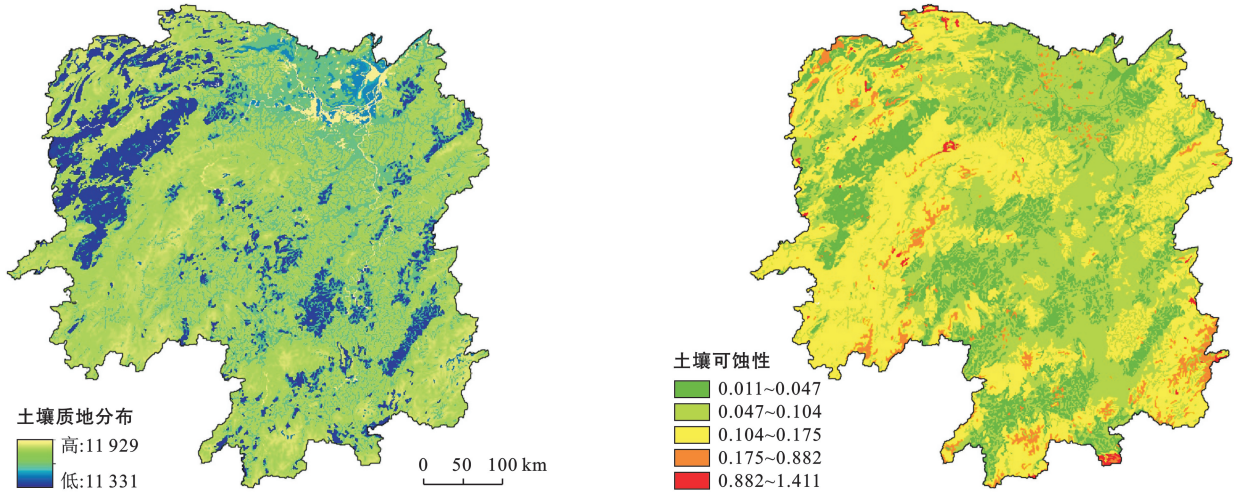


图5 湖南省土壤质地及土壤可蚀性空间分布

Fig.5 Spatial distribution of soil texture and soil erodibility in Hunan Province

2.4 水土保持服务功能

研究区 2000—2020 年研究区水土保持量介于 $8.75 \sim 185.97 \text{ t/hm}^2$ 之间, 2000 年介于 $8.75 \sim 175.3 \text{ t/hm}^2$ 之间, 2005 年介于 $9.13 \sim 172.81 \text{ t/hm}^2$ 之间, 2010 年介于 $9.32 \sim 179.64 \text{ t/hm}^2$ 之间, 2015 年介于 $8.97 \sim 183.31 \text{ t/hm}^2$ 之间, 2020 年介于 $9.64 \sim 185.97 \text{ t/hm}^2$ 之间。2000—2020 年研究区水土保持量呈现上升趋势。研究区以一般重要区和重要区为主, 2000—2020 年一般重要区面积约占研究区总面积 59.8%, 重要区面积约占研究区总面积的 38.4%, 极重要区面积约占研究区总面积的 1.8%。2000—2020 年一般重要区面积呈下降趋势, 重要区面积呈上升趋势, 极重要区面积呈下降趋势 (见图 6)。

一般重要区主要集中分布在长沙市、常德市、岳阳市、益阳市、湘潭市、娄底市、邵阳市、衡阳市; 重要区主要集中分布在张家界市、湘西土家族苗族自治州、怀化市、永州市、郴州市、株洲市; 极重要区在各地市、州均有少量分布。湖南省水土保持服务功能随时间由一般重要区、极重要区向重要区过渡, 导致一般重要区、极重要区发生变化的主要原因是植被净初级生产力随时间发生波动。2000 年一般重要区面积为

$1.27 \times 10^5 \text{ km}^2$, 重要区面积为 $8.13 \times 10^4 \text{ km}^2$, 极重要区面积为 $3.67 \times 10^3 \text{ km}^2$; 2005 年一般重要区面积为 $1.26 \times 10^5 \text{ km}^2$, 重要区面积为 $8.23 \times 10^4 \text{ km}^2$, 极重要区面积为 $3.69 \times 10^3 \text{ km}^2$; 2010 年一般重要区面积为 $1.26 \times 10^5 \text{ km}^2$, 重要区面积为 $8.19 \times 10^4 \text{ km}^2$, 极重要区面积为 $3.65 \times 10^3 \text{ km}^2$; 2015 年一般重要区面积为 $1.28 \times 10^5 \text{ km}^2$, 重要区面积为 $8.13 \times 10^4 \text{ km}^2$, 极重要区面积为 $3.67 \times 10^3 \text{ km}^2$; 2020 年一般重要区面积为 $1.27 \times 10^5 \text{ km}^2$, 重要区面积为 $8.14 \times 10^4 \text{ km}^2$, 极重要区面积为 $3.66 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。

3 讨论

水土保持服务功能发生时空变化的主要原因是植被净初级生产力随时间产生波动, 这与戚宝正等^[14]对青藏高原进行生态系统服务功能重要性评价的结论是一致的, 他认为导致生态功能发生改变的原因极其复杂, 植被净初级生产力的变化是影响生态功能最主要的因素之一。2000—2020 年植被净初级生产力 (以 C 计) 平均值上升了 $2.46 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。植被净初级生产力的波动对水土保持服务功能等级具有重要影响, 而植被净初级生产力又与坡度、土壤质地分布有直接关

系。湖南省海拔差异显著,海拔变化直接决定了坡度的变化,坡度是评价水土保持服务功能极其重要的宏观地形因子^[15-16]。坡度平缓区域有利于植被生长、根系固结土壤,而坡度较大区域则易发生水土流失。植被生长还依赖水分,适宜的降水频次与降水量对植被生长起到促进作用^[17]。但当降水量与降水频率达到一定阈值时,就为水土流失的发生提供了强有力的条件,

这一结论与雷少华等^[18]对南京地区长序列水土流失监测的结果是一致的。植被几乎能在任何情况下都具有阻止水蚀土壤的功能,植被净初级生产力的提升是极重要区减少的必要条件。同时,湖南省近年来实施了山水林田湖草生态保护修复工程,如海绵城市措施、小流域生态综合治理、退耕还林、还草、还湿等一系列生态工程,减少了发生水土流失的诱因^[19-20]。



图 6 湖南省水土保持服务功能时空分布

Fig.6 Spatial and temporal distribution of soil and water conservation service function in Hunan Province

湖南省作为中国南方丘陵山地带的重要组成部分,湘资沅澧中游治理区作为国家级水土流失重点治理区,虽因一系列生态工程的实施有效降低了水土流失的可能性,但针对水土流失综合治理方面的工作仍任重道远。建议今后在极重要区,尤其是人为生产活动影响较大的区域,因地制宜采取科学合理的生态工程措施,并坚持“科学防治、适度利用”的原则,注重生态效益与经济效益共同发展,以提高湖南省区域综合生态承载力。本研究通过 NPP 定量评估法,选择植被净初级生产力、坡度、土壤质地分布构建区域水土保持服务功能时空分布特征,可能因数据精度对最终呈现结果造成一定影响。因此针对水土保持服务功能时空分布特征的研究在可获得数据的基础上,还应充分考虑气候类型、人类生产扰动的因素对水土保持服务功能评估的影响。

4 结论

(1) 湖南省 2000—2020 年植被净初级生产力平均值(以 C 计)为 4.39~334.52 g/(m²·a)之间,在时间上呈上升趋势,在空间上,植被净初级生产力平均值呈现中间较高且向四周递减的变化趋势;高程介于-12~2 081 m 之间,呈现西高东低的趋势,西部区域起伏较大,东部区域相对平缓。高程峰值主要集中在邵阳市、怀化市、永州市,谷值主要集中在常德市域内以及与益阳市交汇区域;坡度介于 3.3°~76.7°之间,呈现西高东低的趋势;土壤可蚀性值介于 0.011~1.411 之间,土壤可蚀性呈现中间低四周高的趋势,由中心区域向四周扩散并提高。峰值出现在怀化市北部、张家界市南部与湘西土家族苗族自治州交汇处,谷值出现在怀化市北部及中心区域。

(2) 湖南省 2000—2020 年水土保持量介于 8.75~185.97 t/hm² 之间,在时间上呈上升趋势,在空间上以一般重要区和重要区为主,一般重要区面积随时间呈下降趋势,重要区面积随时间呈上升趋势,极重要区面积随时间呈下降趋势。水土保持服务功能随时间由一般重要区、极重要区向重要区过渡,一般重要区主要集中分布在长沙市、常德市、岳阳市、益阳市、湘潭市、娄底市、邵阳市、衡阳市;重要区主要集中分布在张家界市、湘西土家族苗族自治州、怀化市、永州市、郴州市、株洲市;极重要区在各地市、州均有少量分布。

参考文献(References)

[1] 林健.水利工程水土保持防治及治理对策研究[J].建材与装饰,2019(22):301-302.

- Lin Jian. Research on soil and water conservation prevention and treatment countermeasures of water conservancy projects [J]. Building Materials & Decoration, 2019(22):301-302.
- [2] 肖胜生,王聪,郭利平,等.南方红壤丘陵区水土保持生态服务功能提升研究进展:以江西省兴国县塘背河小流域为例[J].水土保持通报,2019,39(6):289-294.
Xiao Shengsheng, Wang Cong, Guo Liping, et al. Progress of researches on enhancing soil erosion control and ecological services in red soil hilly region of South China: A case study at Tangbei River watershed of Xingguo County, Jiangxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019,39(6):289-294.
- [3] 刘征.河北省水生态系统服务功能重要性评价[D].河北石家庄:河北师范大学,2006.
Liu Zheng. Evaluation on the importance of water ecosystem service function in Hebei Province [D]. Shijiazhuang, Hebei: Hebei Normal University, 2006.
- [4] 徐文秀,王海燕,鲍玉海,等.湖南省永顺县水土保持功能服务价值评价[J].水土保持研究,2019,26(5):243-248.
Xu Wenxiu, Wang Haiyan, Bao Yuhai, et al. Evaluation of service value of soil and water conservation function in Yongshun County, Hunan Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019,26(5):243-248.
- [5] 陈姗姗,刘康,李婷,等.基于 InVEST 模型的商洛市水土保持生态服务功能研究[J].土壤学报,2016,53(3):800-807.
Chen Shanshan, Liu Kang, Li Ting, et al. Evaluation of ecological service function of soil conservation in Shangluo City based on in VEST model [J]. Acta Pedologica Sinica, 2016,53(3):800-807.
- [6] 高旺盛,陈源泉,董孝斌,黄土高原生态系统服务功能的重要性与恢复对策探讨[J].水土保持学报,2003,17(2):59-61.
Gao Wangsheng, Chen Yuanquan, Dong Xiaobin. Signification and measurements for ecological restoration of ecosystem services in Loess Plateau [J]. Journal of Soil Water Conservation, 2003,17(2):59-61.
- [7] 余新晓,吴岚,饶良懿,等.水土保持生态服务功能价值估算[J].中国水土保持科学,2008,6(1):83-86.
Yu Xinxiao, Wu Lan, Rao Liangyi, et al. Assessment on the ecological services value of soil and water conservation [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2008,6(1):83-86.
- [8] 马文银.邵阳市森林水土保持服务功能价值评价研究[J].安徽农业科学,2010,38(12):6450-6452.
Ma Wenyin. Study on evaluation of forest soil and water conservation service function value in Shaoyang City [J].

- Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(12): 6450-6452.
- [9] 刘金巍, 靳甜甜, 刘国华, 等. 黑河中上游地区 2000—2010 年土地利用变化及水土保持服务功能[J]. 生态学报, 2014, 34(23): 7013-7025.
- Liu Jinwei, Jin Tiantian, Liu Guohua, et al. Changes in land use and soil and water conservation of the upper and middle reaches of Heihe River basin during 2000—2010 [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(23): 7013-7025.
- [10] 刘震. 从我国水土流失现状看水土保持生态建设战略布局[J]. 中国水土保持, 2002(6): 2-4.
- Liu Zhen. Strategic layout of soil and water conservation ecological construction from the present situation of soil and water loss in China [J]. Soil and Water Conservation in China, 2002(6): 2-4.
- [11] 王强. 公路建设项目水土保持方案编制研究[D]. 山西太谷: 山西农业大学, 2015.
- Wang Qiang. Study on soil and water conservation scheme of highway construction project [D]. Taigu, Shanxi: Shanxi Agricultural University, 2015.
- [12] 卜跃先. 湖南省生物多样性功能分区研究[D]. 湖南长沙: 湖南大学, 2006.
- Bu Yuexian. Research on biodiversity functional zoning in Hunan Province [D]. Changsha, Hunan: Hunan University, 2006.
- [13] 许联芳, 张海波, 张明阳, 等. 南方丘陵山地带土壤保持功能及其经济价值时空变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(9): 1599-1605.
- Xu Lianfang, Zhang Haibo, Zhang Mingyang, et al. Spatial-temporal variation characteristics of the soil conservation function and its economic value in the southern hill and mountain area, China [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(9): 1599-1605.
- [14] 戚宝正, 杨海镇, 周华坤, 等. 基于GIS的青藏高原生态服务功能定量评价[J]. 生态科学, 2023, 42(1): 187-196.
- Qi Baozheng, Yang Haizhen, Zhou Huakun, et al. Quantitative evaluation of the ecological service function on Qinghai-Tibet Plateau based on GIS analysis [J]. Ecological Science, 2023, 42(1): 187-196.
- [15] 刘新华. 区域水土流失地形因子分析与提取研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2001.
- Liu Xinhua. Study on analysis and extraction of topographic factors of regional soil erosion [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2001.
- [16] 李小兵, 郝姗姗, 刘姗姗. 不同分辨率DEM对地形因子和土壤侵蚀强度评价的影响分析: 以黄土丘陵沟壑区裴家崄小流域为例[J]. 中国水土保持, 2022(10): 20-24.
- Li Xiaobing, Hao Shanshan, Liu Shanshan. Influence of DEM with different resolution to the topographic factors and soil erosion intensity evaluation: A case of Peijima small watershed in loess hilly and gully region [J]. Soil and Water Conservation in China, 2022(10): 20-24.
- [17] 李羽莹, 刘桂民, 吴晓东, 等. 2000—2021 年北半球多年冻土区 NDVI 变化趋势及其影响因素[J]. 地球科学与环境学报, 2024, 46(3): 321-333.
- Li Yuying, Liu Guimin, Wu Xiaodong, et al. Changing trend of NDVI and its influencing factors in the permafrost regions of the northern hemisphere from 2000 to 2021 [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2024, 46(3): 321-333.
- [18] 雷少华, 徐春, 韩丹妮, 等. 基于遥感的水土流失长时序监测分析[J]. 江苏水利, 2023(1): 28-31.
- Lei Shaohua, Xu Chun, Han Danni, et al. Analysis on long time sequence monitoring of soil erosion based on remote sensing [J]. Jiangsu Water Resources, 2023(1): 28-31.
- [19] 邹宇, 许乙青, 邱灿红. 南方多雨地区海绵城市建设研究: 以湖南省宁乡县为例[J]. 经济地理, 2015, 35(9): 65-71.
- Zou Yu, Xu Yiqing, Qiu Canhong. The research on sponge city construction in southern hilly area: A case study of Ningxiang County in Hunan Province [J]. Economic Geography, 2015, 35(9): 65-71.
- [20] 胡学翔. 湖南省水土保持生态清洁小流域建设回顾与思考[J]. 中国水土保持, 2019(3): 18-19.
- Hu Xuexiang. Review and consideration on soil and water conservation ecological and clean-type small watershed building of Hunan Province [J]. Soil and Water Conservation in China, 2019(3): 18-19.