

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.09.014

成渝城市群生态保护红线分析及其配套政策建议

杨妃¹, 李志刚²

1. 成都理工大学 地球科学学院, 成都 610059; 2. 成都理工大学 管理科学学院, 成都 610059

摘要: 生态保护红线的确定, 为区域生态安全格局构建和生态空间保护政策的制定提供了重要的参考价值. 以成渝城市群为例, 综合考虑生态服务功能重要性、生态敏感性和自然保护区, 确定研究区生态保护红线范围, 运用修正的生态服务价值(ecosystem service value, ESV)评估模型, 对红线内的ESV进行估算. 结果显示: ①成渝城市群生态保护红线的面积为45 718.86 km², 占研究区总面积的24.71%, 2000—2020年生态保护红线区域草地、耕地和湿地的面积减少, 林地、水域和建设用地等土地利用类型的面积增加; ②红线区ESV总量呈上升状态, 但增幅减小, 土壤保持、气体调节、生物多样性和水文调节是最主要的生态系统服务类型, 且林地贡献了生态保护红线区域77.79%的ESV; ③生态保护红线区单位面积ESV是整个研究区的1.36倍, 各土地利用类型单位面积ESV从大到小依次为水域、湿地、林地、灌丛. 研究区的生态环境治理得到改善, 但治理力度有待进一步加强, 应制定合理的区域配套政策, 优化土地利用结构, 提升治理能力现代化水平, 实现成渝城市群高质量发展.

关键词: 生态保护红线; 生态系统服务; 配套政策;

土地利用变化

中图分类号: X321

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2022)09-0133-11

Analysis on Ecological Protection Red Line of Chengdu-Chongqing Urban Agglomeration and Suggestions on Supporting Policy

YANG Fei¹, LI Zhigang²

1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. College of Management Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: The determination of ecological protection red line provides important reference significance for the construction of regional ecological security patterns and the formulation of ecological space protection policies. Taking the Chengdu-Chongqing urban agglomeration as the research object, comprehensively

收稿日期: 2021-07-24

基金项目: 国家社会科学基金项目(19XJY003).

作者简介: 杨妃, 硕士研究生, 主要从事“3S”技术与数字国土研究.

通信作者: 李志刚, 博士, 教授, 博士研究生导师.

considering the importance of ecosystem services function, ecological sensitivity and nature reserve, the ecological protection red line of the Chengdu-Chongqing urban agglomeration was determined. This study uses the reconstructed ecosystem service value(ESV) assessment model to estimate the ESV within the ecological protection red line. The results show that: ① The ecological protection red line zone of the Chengdu-Chongqing urban agglomeration covers an area of 45 718.86 km², accounting for 24.71% of the total area of the study area. From 2000 to 2020, the areas of grassland, cultivated land and wetland in the ecological protection red line area decreased, and the areas of land use types such as woodland, water area and construction land increased. ② The ecosystem services value in the red line of the study area showed an upward trend, but the rate of increase decreased. Among them, soil conservation, air regulation, biodiversity and hydrological regulation are the most important functions, and woodland contributes 77.79% of ESV in the ecological protection red line area. ③ The ESV per unit area of the red line area of ecological protection was about 1.36 times that of the entire study area. The value of the ecosystem service unit area of each land use type was water area, wetland, woodland, and shrub in descending order. The ecological environment management of the study area has been improved, but the governance efforts need to be further strengthened. It is necessary to formulate reasonable regional supporting policies, optimize the land use structures, enhance the modernization level of governance capacity, and realize the high-quality development of Chengdu-Chongqing urban agglomeration.

Key words: ecological protection red line; ecosystem services; supporting policies; land use change

生态保护红线是指在生态空间范围内具有重要生态功能、必须强制性严格保护的区域,包括具有水源涵养、生物多样性保护、水土保持等功能的重要生态区,以及水土流失、地质灾害等生态环境敏感区,是保障国家生态环境安全的底线^[1]. 2011年,国务院在《国务院关于加强环境保护重点工作的意见》中正式提出生态保护红线计划,并将其作为国家生态安全战略. 2015年,中国环境保护部颁布实施《生态保护红线划定技术指南》^[2],以帮助地方政府结合当地需求进行调整,制定适合本地红线的划定政策.

生态系统为人类福祉、健康和生存提供多种生态系统服务,这些服务直接或间接地对人类社会作出贡献,其重要性激发了人们对生态保护的興趣^[3]. 生态系统服务价值(ecosystem service value, ESV)可以为环境管理者和公众提供直接的评估方式,以了解生态系统潜在的服务能力^[4]. 目前,国内外常用的ESV评估方法有当量因子法和生态功能价值法^[5]. 前者利用土地利用数据和生态系统服务当量来计算ESV,与生态功能价值法相比,当量因子法直观且所需数据较少,是评估中宏观尺度ESV的常用方法. 1997年, Costanza等^[6]首先提出了全球ESV的等效因子. 根据我国的实际情况,谢高地等^[7]提出适合中国生态系统服务的分类方法,制定了“中国土地生态系统服务价值当量表”,并在不同尺度和单个生态系统中得到广泛应用^[8-9]. 但是这些研究忽略了生物量和植被覆盖度对生态用地的影响,考虑到ESV的准确评价是区分生态系统实际发展状况的基础,有必要结合生物量和植被覆盖度对ESV系数进行修正^[10].

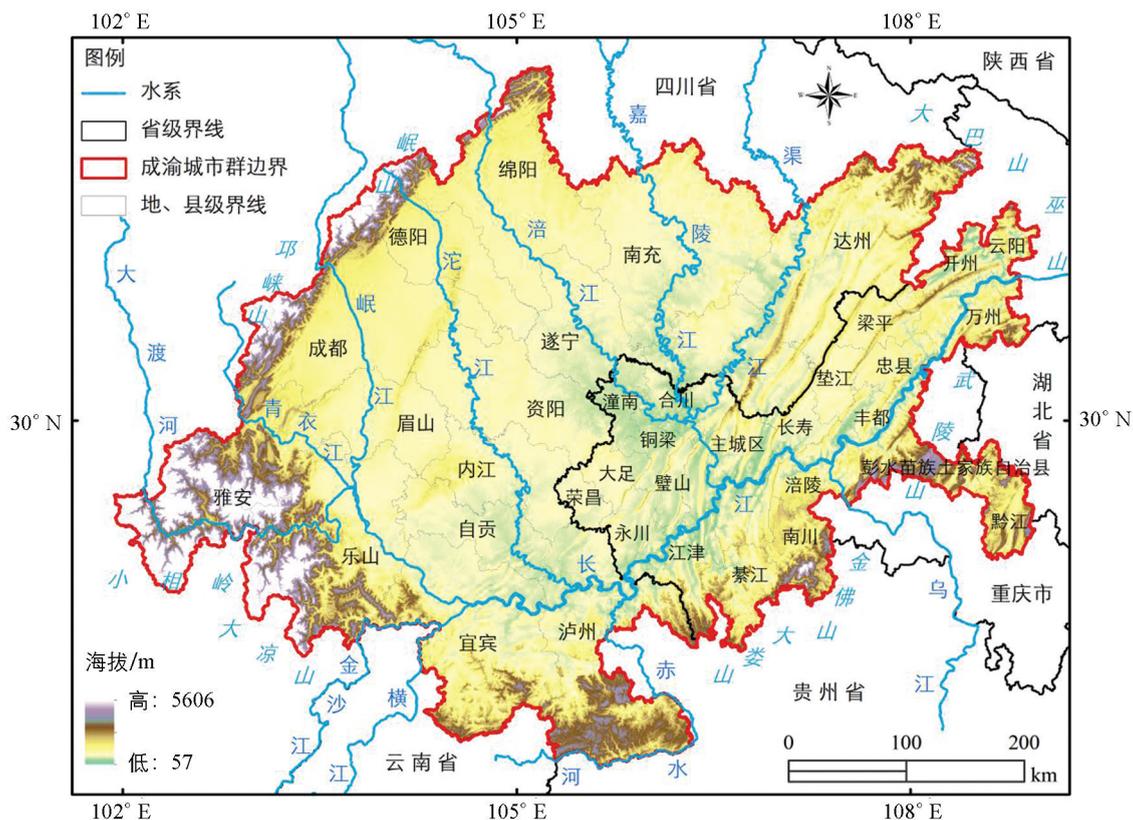
成渝双城经济圈建设已经成为国家区域发展的重大战略,以成都和重庆为核心城市,带动成渝地区协同发展. 但成渝城市群在经济和城镇化高速发展过程中,也积累了一些矛盾和问题,如城镇无序扩张,城市群环境污染严重等,较大地冲击了城市原有的生态和空间结构,引发了生态功能下降、空气污浊等一系列“城市病”^[11]. 因此,生态功能保护成为成渝城市群区域可持续发展面临的重大现实问题. 生态保护红线作为我国环境保护的制度创新,其科学划定对构建科学合理的城市生产、生活空间和生态空间,维护国土生态安全、促进经济社会可持续发展和推进生态文明建设具有十分重要的现实意义. 目前,关于生态保护

红线的研究成果较多,如王雅竹等^[12]综合考虑生态敏感性、生态功能重要性和禁止开发区,明确长江岸线生态保护红线及其分区;刘延国等^[13]构建了生态地质环境脆弱性评估体系,优化了四川省生态保护红线识别方法,为生态红线研究提供了理论和实践支撑.但总体看来,现有成果针对城市群的研究较少,且可操作性不强.基于此,本研究充分考虑重要数据的实效性、评估方法的可行性和可操作性,采用植被净初级生产力(net primary productivity of vegetation, NPP)定量指标法,在时间维度上识别稳定的生态功能热点和长期受自然或人为因素影响的脆弱区,叠加自然保护区以确定生态保护红线.在此基础上对红线内的ESV、土地利用和生态系统服务功能进行综合分析,为制定有针对性的区域生态保护政策,合理利用区域生态资源提供科学依据.

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

《成渝城市群发展规划》指出,成渝城市群涵盖重庆市的渝中、万州等29个地区,以及四川省的成都、自贡等15个市,研究区总面积为18.5万km²(图1).成渝城市群地处长江上游,是西南地区城镇和人口密度最大的区域,已成为西部大开发的重要平台.研究区生态地位极其重要,是长江上游重要的生态安全屏障和水源保护区.长江干流自西南向东北贯穿全境,主要支流有岷江、嘉陵江和沱江等,与全国重要的水源涵养区相接.由于地理位置的缘故,研究区属亚热带湿润季风气候,降水充沛,空气相对湿度大.地貌类型复杂多样,包含山地、丘陵、盆地和平原等,地势总体呈四周高中间低.



底图来源于国家测绘地理信息局标准地图服务网站,审图号:GS(2016)1605号.

图1 研究区区位示意

1.2 数据来源

本研究使用了2000—2020年2种形式的数据,即空间数据和统计数据.具体而言,本研究使用的

数据主要包括: NASA 官网 (<http://modis.gsfc.nasa.gov>) 提供的 2000—2020 年 MODIS 成品数据 MOD17A2 产品, 用于提取研究区 NPP 数据; 2000—2020 年均降水量和月均降水量由 NASA 官网 (https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GPM_3IMERGM_06/) 提供, 气温数据来源于 Copernicus 官网 (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>); 从地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>) 收集了分辨率为 90 m 的数字高程模型 (DEM) 数据, 用于提取海拔和坡度; 土壤类型和土壤有机质含量等信息来自世界土壤数据库 (HWSD) 的中国土壤数据集, 由国家冰川冻土沙漠科学数据中心 (<http://www.ncdc.ac.cn>) 提供; 研究区的土地利用数据来自 GlobeLand30 (<http://data.ess.tsinghua.edu.cn/>), 空间分辨率为 30 m; 归一化植被指数 (NDVI) 数据由 USGS 官网 (<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13a1v006/>) 提供; 自然保护区数据来自于中国科学院资源环境数据云平台 (<http://www.resdc.cn/>).

1.3 研究方法

1.3.1 生态保护红线确定方法

基于研究区的生态特性和主要的生态环境问题, 并借鉴该区域已有的相关研究文献^[14-15], 根据《生态保护红线划定技术指南》, 采用定量指标法 (表 1) 对研究区的生态系统服务功能重要性和生态敏感性进行评估. 利用自然断点法将归一化后的生态系统服务功能重要性和生态敏感性分为极重要 (极敏感)、高度重要 (高度敏感)、中度重要 (中度敏感)、重要 (敏感) 和一般重要 (一般敏感) 5 个等级. 最后, 选取生态系统服务功能极重要和高度重要稳定区以及生态环境极敏感和高度敏感稳定区, 将其纳入生态保护红线.

表 1 生态保护红线划定的计算方法

一级指标	二级指标	计算公式	参数说明
生态系统 服务功能 重要性	水源涵养	$WR = NPP_{\text{mean}} \times F_{\text{sic}} \times F_{\text{pre}} \times (1 - F_{\text{slo}})$	WR: 生态系统水源涵养服务能力指数; NPP_{mean} : 研究区 2000—2020 年多年平均年植被净初级生产力; F_{sic} : 土壤渗流能力因子; F_{pre} : 多年平均降水量因子; F_{slo} : 坡度因子
	水土保持	$S_{\text{pro}} = NPP_{\text{mean}} \times (1 - K) \times (1 - F_{\text{slo}})$	S_{pro} : 水土保持服务能力指数; K : 土壤可蚀性因子
	生物多样性	$S_{\text{bio}} = NPP_{\text{mean}} \times F_{\text{pre}} \times F_{\text{tem}} \times (1 - F_{\text{alt}})$	S_{bio} : 生物多样性维护服务能力指数; F_{tem} : 多年平均气温; F_{alt} : 海拔因子
生态 敏感性	固碳释氧	$CSOP = 1.63 \times NPP_{\text{mean}} + 1.2 \times NPP_{\text{mean}}$	CSOP: 固碳释氧服务能力指数
	水土流失	$SS_i = \sqrt[4]{R_i \times K_i \times LS_i \times C_i}$	SS_i : 空间单元 i 水土流失敏感性指数; R_i : 降雨侵蚀力因子; K_i : 土壤可蚀性因子; LS_i : 坡长坡度因子; C_i : 地表植被覆盖因子

1.3.2 生态保护红线区 ESV 评价

生态系统服务价值系数是评估区域 ESV 的基础, 由于生态系统存在空间异质性, 直接采用中国土地生态系统服务价值当量系数可能会导致计算结果偏离研究区的实际情况. 利用生物量和植被覆盖率因子对 ESV 系数进行修正, 构建了能更好反映 ESV 随时间动态变化的评价模型. 计算公式为:

$$VC_p = \frac{NPP_s}{NPP_g} \times \frac{c_i}{C_i} \times V_0 \times VC_0 \quad (1)$$

$$VC_0 = 1/7(P \times Q) \quad (2)$$

式中: VC_p 为研究区第 i 年生态系统服务价值系数, 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); NPP_s 和 NPP_g 分别为研究区和全国

范围内的植被净初级生产力, gC/m^2 ; V_0 为中国生态系统服务的单位价值当量; VC_0 为研究区单位面积农田提供的粮食价值, 元/ hm^2 ; P 为研究区的平均粮食价格, 元/kg; Q 为研究区平均粮食产量, kg/hm^2 ; c_i 和 C_i 分别为第 i 年研究区和全中国的年均植被覆盖率, 计算模型为:

$$C = \frac{I_{NDVI} - I_{NDVI \min}}{I_{NDVI \max} - I_{NDVI \min}} \quad (3)$$

式中: I_{NDVI} 为归一化植被指数; $I_{NDVI \min}$ 和 $I_{NDVI \max}$ 分别为研究区内 I_{NDVI} 的最小值和最大值。

生态保护红线区的生态系统服务价值计算公式为:

$$ESV_f = \sum_{i=1}^n A_i \times VC_{fi} \quad (4)$$

式中: ESV_f 为红线内第 f 项生态系统服务功能的生态系统服务价值总量, 元/a; A_i 为红线内 i 类土地利用类型的面积, hm^2 ; VC_{fi} 为红线内第 i 类土地利用类型的第 f 项生态系统服务价值系数, 元/ $(hm^2 \cdot a)$ 。

2 结果

2.1 生态系统服务功能重要性评价

从图 2 可以看出, 由于四川盆地中部的平原与四周丘陵山地的地形和气候差异, 各项生态系统服务功能呈现出明显的空间差异。水土保持和固碳释氧的空间分布在该时间段内变化较小, 趋于稳定状态, 但空间异质性明显, 极重要和高度重要区集中分布在渝东北秦巴山地、渝东南武陵山一带的中低山林区、渝南金佛山和大娄山区域, 以及研究区西南部的小相岭和大凉山、西部的岷山—邛崃山一带的自然保护区和天然林分布区。水源涵养和生物多样性维持受气候因素影响, 年际变化明显, 呈现变化的空间分布, 稳定的高值区分布在四川盆地西南地区的雅安、眉山和乐山, 以及研究区东北部的渝东北生态涵养发展区、渝东南生态保护区和四川达州等地区, 是主要产水区和自然保护区。

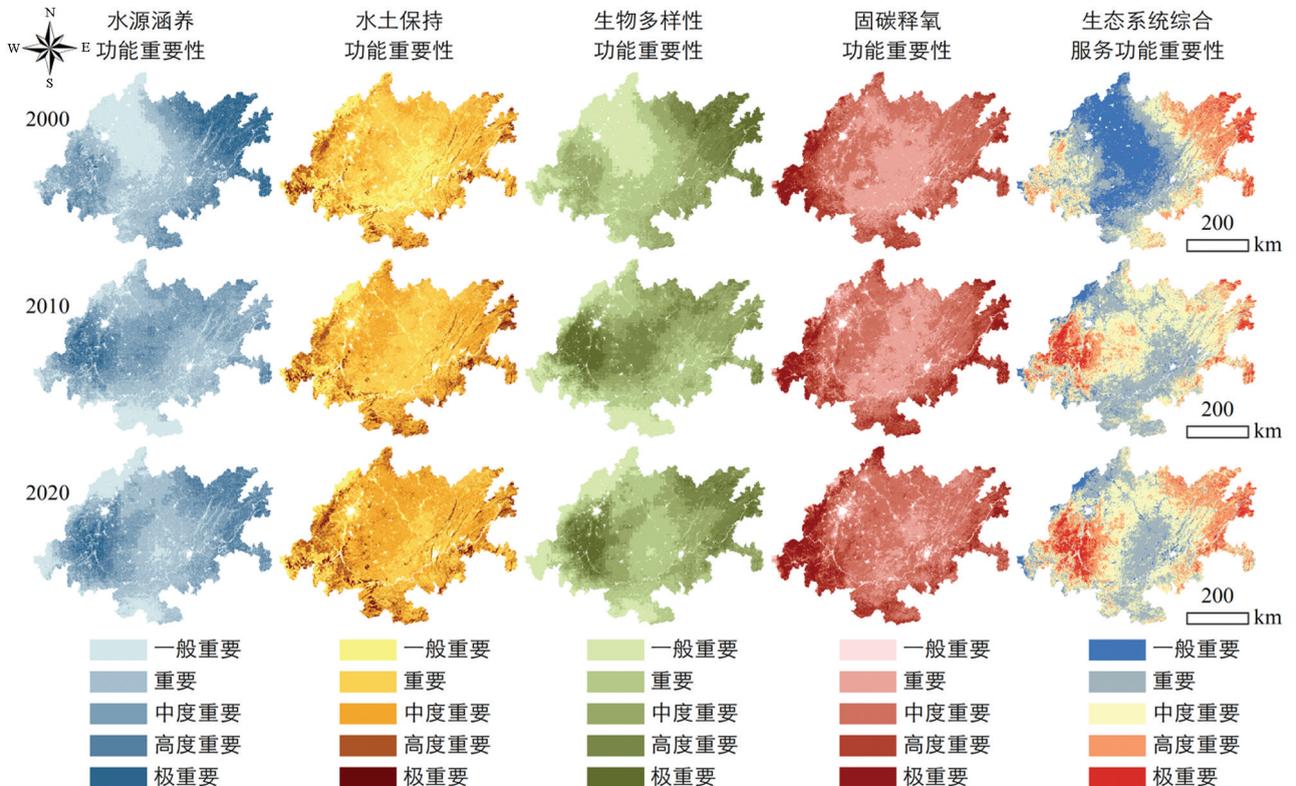


图 2 成渝城市群生态系统服务功能重要性评价结果

总体而言,研究区的生态系统综合服务功能以中度重要和重要区为主,占研究区总面积的 65% 以上(图 3)。2000—2020 年极重要和高度重要区面积分别增加了 6 216.73 km² 和 14 505.70 km²,而一般重要和重要区面积呈减少趋势,分别为 1 1674.87 km² 和 2 0611.42 km²,说明研究区的生态环境好转趋势明显。在空间分布上,研究区的生态系统功能呈现明显的区域差异,西南和东北部优于中部平原区,这些地区自然生态系统保存较好,维持着人类赖以生存的生命支持系统。

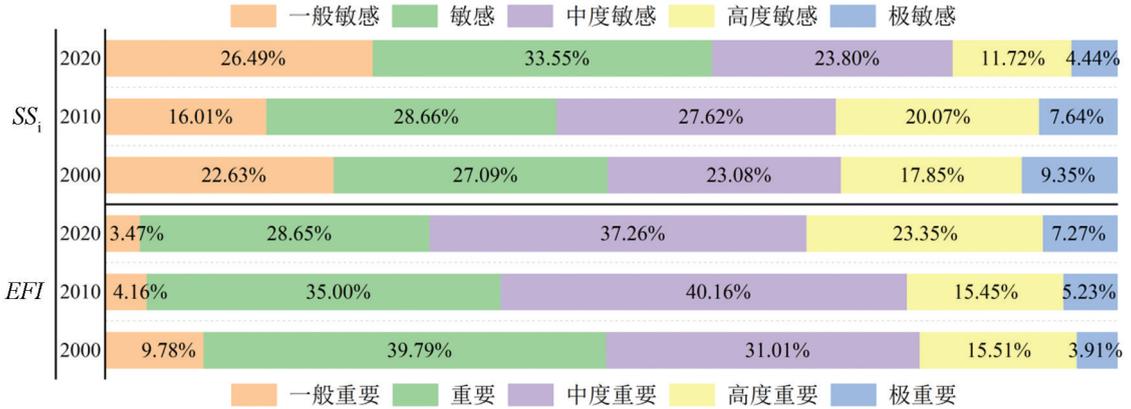


图 3 生态系统服务功能重要性水土流失敏感性占比

2.2 生态敏感性评价

成渝城市群的水土流失主要集中在中度敏感和敏感区,占研究区总面积的 50% 以上(图 3),时段内极敏感和高度敏感区面积分别减少了 9 084.56 km² 和 11 341.83 km²,一般敏感和敏感区分别增加了 7 141.84 km² 和 11 952.40 km²,整体上呈现敏感性降低趋势。在空间分布上,极敏感和高度敏感区分布在四川省的雅安、眉山、乐山、达州,以及重庆主城“四山”(缙云山、中梁山、铜锣山、明月山)区和三峡库区(图 4),这些地区属山地丘陵,降雨量十分丰富,生态系统很容易受到人类活动的影响。

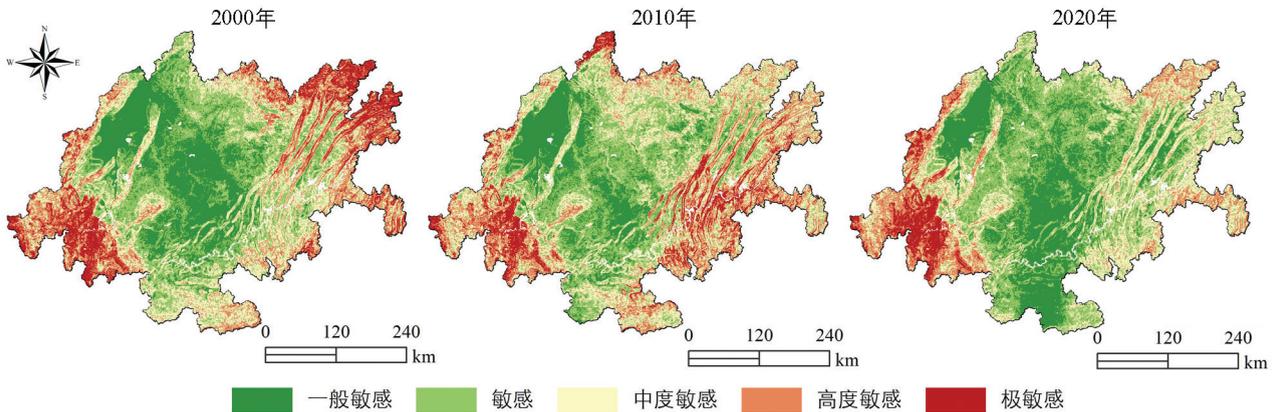
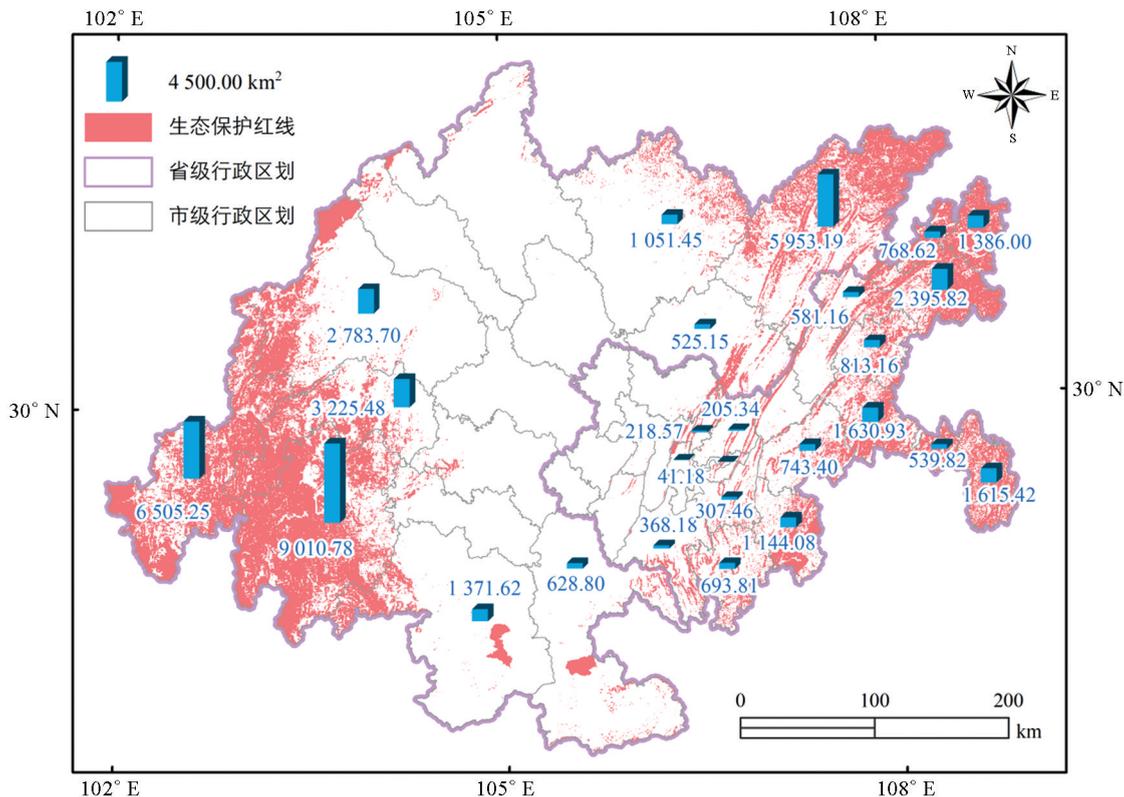


图 4 研究区水土流失敏感性时空分布

2.3 生态保护红线的土地利用与生态服务价值变化分析

2.3.1 生态保护红线空间分布

成渝城市群生态保护红线面积为 45 718.86 km²,占研究区总面积的 24.71%,主要分布在研究区东部的大巴山—巫山—武陵山—金佛山—大娄山一带,重庆主城“四山”区域,以及西部的岷山—邛崃山—小相岭—大凉山一带。从行政区划来看,红线主要集中在四川省的乐山、雅安、达州、眉山和成都,以及重庆市的万州区、丰都县、黔江区和云阳县等(图 5),分别占红线区的 19.71%,14.23%,13.02%,7.06%,6.09%,5.24%,3.57%,3.53%和 3.03%。生态保护红线的划定有利于维护国家和地区的生态安全,为生态建设规划提供参考依据,与习近平总书记提出的绿色发展理念高度契合。



底图来源于国家测绘地理信息局标准地图服务网站, 审图号: GS(2016)1605 号。

图 5 生态保护红线的空间分布以及各行政区内的红线面积

2.3.2 生态保护红线的土地利用变化

由表 2 研究区生态保护红线的土地利用变化可以看出, 生态保护红线的主要土地利用类型是林地和耕地, 占红线区域总面积的 51.32% 和 36.86% (2000 年)、52.33% 和 37.02% (2010 年) 以及 52.20% 和 36.37% (2020 年)。2000—2010 年保护红线区的林地、耕地和水域面积增加明显, 分别为 462.95, 70.28, 24.38 km², 表明期间研究区在保护生态林业方面功效显著。2010—2020 年研究区保护红线内的土地利用类型变化与前 10 年的变化情况差异较大, 建设用地和水域的面积显著增加。其中, 2020 年建设用地的面积为 2010 年的 3.33 倍, 水域面积增幅为 55.76%。

表 2 2000—2020 年红线区域的土地利用变化

土地类型	2000 年		2010 年		2020 年		2000—2010 年	2010—2020 年
	面积/ km ²	占比/ %	面积/ km ²	占比/ %	面积/ km ²	占比/ %	面积/ km ²	面积/ km ²
耕地	16 852.83	36.86	16 923.11	37.02	16 626.17	36.37	70.28	-296.94
林地	23 460.44	51.32	23 923.39	52.33	23 871.48	52.20	462.95	-51.91
草地	4 550.86	9.95	3 991.72	8.73	3 961.39	8.66	-559.14	-30.33
灌丛	497.41	1.09	513.49	1.12	502.97	1.10	16.08	-10.52
湿地	22.97	0.05	18.85	0.04	12.20	0.03	-4.12	-6.65
水域	195.12	0.43	219.50	0.48	341.89	0.75	24.38	122.39
建设用地	125.09	0.27	113.38	0.25	377.33	0.83	-11.71	263.95
冰川积雪	14.14	0.03	15.42	0.03	25.43	0.06	1.28	10.01
总计	45 718.86	100.00	45 718.86	100.00	45 718.86	100.00	0	0

2.3.3 生态保护红线区的 ESV 变化

2000—2020 年期间, 研究区生态保护红线内的 ESV 总量呈不断增加的趋势 (表 3), 分别为 727.97,

736.48, 737.05 亿元, 说明近年来成渝城市群实施的各项生态保护措施, 在改善生态功能方面发挥了积极作用。但 2000—2010 年和 2010—2020 年 ESV 总量的增幅分别为 1.17% 和 0.08%, 后 10 年的增长速度有所减慢。在各种土地利用类型中, 林地是生态系统服务的主体, 占红线区服务总价值的 77.46% (2000 年)、78.07% (2010 年) 和 77.84% (2020 年)。除了林地的服务价值较高外, 耕地和草地的服务价值贡献率 3 年平均达 15.34% 和 4.53%, 其次是水域、灌丛、湿地、冰川积雪。从整体上来说, 除了耕地、草地、湿地和建设用地的 ESV 下降外, 其他土地利用类型的 ESV 均上升。其中, 2000—2020 年林地的 ESV 增长最为明显, 为 9.88 亿元。

表 3 红线区不同土地利用类型 ESV 的变化

生态系统服务价值	耕地	林地	草地	灌丛	湿地	水域	建设用地	冰川积雪	总计	
ESV/亿元	2000 年	112.93	563.85	36.24	5.07	0.77	9.94	-0.90	0.08	727.97
	2010 年	113.40	574.98	31.79	5.23	0.64	11.18	-0.82	0.09	736.48
	2020 年	111.41	573.73	31.55	5.12	0.41	17.41	-2.73	0.14	737.05
贡献率/%	2000 年	15.51	77.46	4.98	0.70	0.11	1.36	-0.12	0.01	100.00
	2010 年	15.40	78.07	4.32	0.71	0.09	1.52	-0.11	0.01	100.00
	2020 年	15.12	77.84	4.28	0.69	0.06	2.36	-0.37	0.02	100.00
变化量/亿元	2000—2010 年	0.47	11.13	-4.45	0.16	-0.14	1.24	0.08	0.01	8.50
	2010—2020 年	-1.99	-1.25	-0.24	-0.11	-0.22	6.23	-1.91	0.06	0.57
	2000—2020 年	-1.52	9.88	-4.69	0.06	-0.36	7.47	-1.82	0.06	9.07

从图 6 可以看出, 2000—2020 年红线区 4 大体系服务功能价值从大到小依次为调节服务、支持服务、供给服务、文化服务, 分别是 361.81, 243.97, 92.73 和 35.31 亿元。2000—2020 年红线区各类生态系统服务的 ESV 变化较小, 其中调节服务中水文调节功能的 ESV 增长量最大, 为 1.86 亿元。通过计算单项生态系统服务价值的平均值, 支持服务中的土壤保持、生物多样性功能以及调节服务中的气体调节、水文调节功能的 ESV 较高, 分别占总价值的 18.99%, 14.26%, 14.28% 和 14.15%, 其次为气候调节、废物处理、原料生产和美学景观, 供给服务中的食物生产服务贡献最低, 仅为 3.08%。

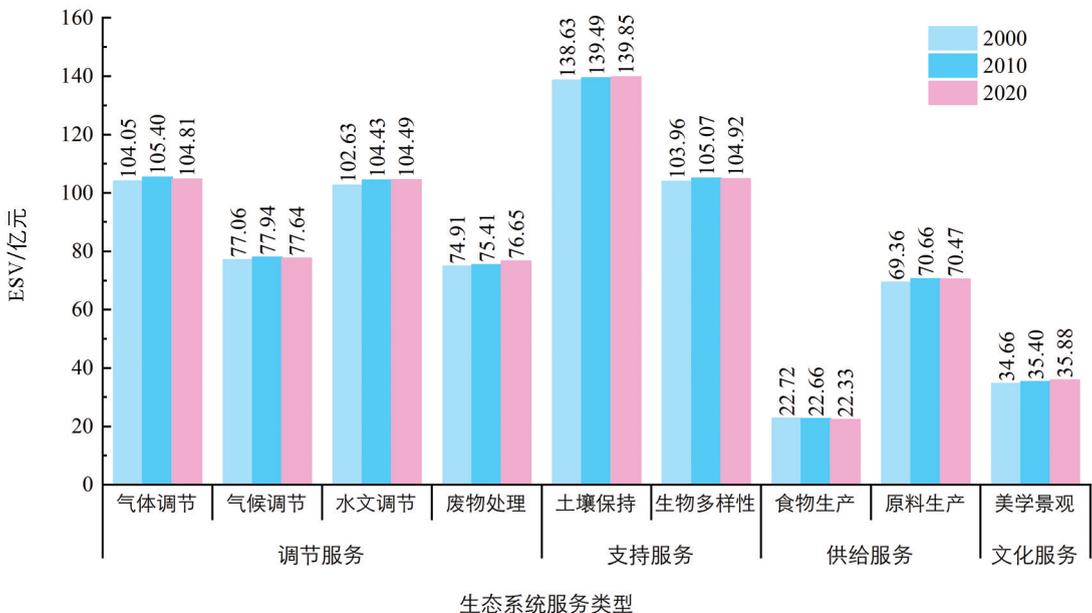


图 6 2000—2020 年生态保护红线区 ESV 的时序变化

3 讨论

3.1 生态保护红线分析

2000—2020年成渝城市群、生态保护红线区和非红线区的单位面积ESV分别为1.18,1.60,1.03万元/hm²,红线区单位面积ESV为整个研究区的1.36倍,是非红线区的1.55倍。因此,生态保护红线是一个生态系统相对较好的区域,生态系统供给能力较强,具有不可复制性和不可替代性。邓伟等^[16]在对重庆市生态红线区生态系统服务价值研究中也发现,红线区的土地平均生态系统服务单位面积价值是全市土地平均的1.22倍。此外,ESV的变化取决于土地利用的变化情况,土地利用变化可以改善或破坏生态系统服务的供应能力^[17]。根据划定的红线区统计数据,如果不计算耕地和建设用地,则各土地利用类型的生态系统服务单位面积价值大小顺序为水域(5.09万元/hm²)、湿地(3.37万元/hm²)、林地(2.40万元/hm²)、灌丛(1.02万元/hm²)。2000—2020年生态保护红线区生态系统服务价值显著增加,主要原因是大量的耕地和草地转化为水域和林地,这意味着退耕还林政策带来了积极的生态效应。在相关研究^[18]中也有类似的结论,他们认为水域和林地是影响生态系统服务价值变化的主要因素。

3.2 生态保护配套政策建议

成渝城市群是长江上游重要的生态屏障,自2020年四川省和重庆市人民政府相继出台《关于落实生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线制定生态环境准入清单实施生态环境分区管控的通知》等文件,制定明确的生态环境分区管控方案,将所辖行政区域从生态环境保护的角度划分了优先保护、重点管控和一般管控3种分区单元,实施生态环境精细化、差异化管理,助力成渝地区双城经济圈建设,筑牢长江上游重要生态屏障。本研究为优化后续生态保护红线监管工作,根据成渝城市群生态系统服务功能与价值的时空变化特征分析结果,提出以下建议。

1) 优化土地利用格局,明确保护优先级。研究结果表明,水体的单位面积生态系统服务价值最高,2000—2020年均值为5.09万元/hm²,且对多种生态系统服务的供给能力不可替代。因此,需加强水资源保护、河湖水域岸线管理保护、水污染防治、水环境治理和水生态修复工作,推进成渝城市群区域内长江、嘉陵江、乌江、岷江、涪江和沱江等生态廊道的建设任务。其次,湿地作为单位面积生态系统服务价值次之的生态系统,对维持区域水文调节、生物多样性保护和美学景观等服务的稳定性至关重要。在城市规划中应避免对湖泊、河流、沼泽等的侵占,尽量保持湿地景观格局的整体性,同时重视湿地旅游资源开发和利用,以提高湿地的利用效率。最后,林地生态系统在保护红线区的占比最大,对红线区域ESV贡献率约为77.79%,在改善生态系统服务方面发挥着重要作用。因此,加大林地的保护力度,积极培育“工业树”,打造“产业林”,以增强林地在气候水文调节、原料生产、生物多样性保护和土壤保持等服务的供应能力。

2) 坚持“点上开发、面上保护”原则。红线区单位面积ESV约为非红线区的1.55倍,主要分布在成渝城市群周边山区,其生态系统相对较好、生态系统服务供给能力较强,其中土壤保持、气体调节、生物多样性和水文调节服务价值较高,分别为139.32,104.75,104.65,103.85亿元,但红线区生态环境脆弱,是水土流失极敏感和高度敏感的集中区域。因此,地方政府应加大对水土流失综合治理专项资金的投入,以支持区域土地综合治理、生态修复等工程的实施,确保长江流域的生态安全。而对于四川省的成都市近郊区、雅安市石棉县、眉山市洪雅县、乐山市峨眉山市、达州市宣汉县,以及重庆市万州区、黔江区、开州区和云阳县等区域,则应构建多元化生态补偿机制,为保护区域生态系统提供有效的投融资支持,创新生态补偿方式,多渠道引入社会资本合作,改善经济发展与生态保护的困境,在不影响主导生态服务功能的前提下,

引导企业资金参与生态保护力度, 注重大健康产业、生态旅游等特色生态产业的发展, 将生态优势转化为发展优势, 增加第三产业财税收入。

3) 实施差异化分区管理。研究区生态保护红线面积为 45 718.86 km², 占研究区总面积的 24.71%, 红线区域 ESV 为 733.83 亿元, 占研究区总量的 33.67%。红线区土地利用类型复杂多样, 对 ESV 贡献较大的是林地(77.79%)、耕地(15.34%)、草地(4.53%)、水域(1.75%)和湿地(0.09%)。基于研究区生态状况的复杂性, 将生态红线的划分不同级别和类型并实施差异化管理策略。对于红线区生态服务功能极重要、生态环境极敏感和自然保护区, 将其划分为核心保护区, 高度重要和高度敏感区划定为一类管控区。核心保护区是生态保育和修复的关键地区, 应实施严格的管控措施, 除生态修复、自然保护、应急救援和省级以上的民生基础设施外, 禁止一切与生态保护无关的开发建设和工业化城镇化的人为活动。一类管控区要以保护生态本底为主, 采取适度控制和生态补偿措施, 实行总量控制和占补平衡原则, 优先考虑低能耗和高新技术产业、生态建设项目和公共基础设施。

4) 搭建生态保护红线监管平台。研究结果表明, 2000—2020 年生态保护红线内的 ESV 总量呈持续上升趋势, 但 2010—2020 年的增长率较 2000—2010 年有所下降。针对红线区 ESV 增长速度降低的实际情况, 有必要开展区域生态环境状况及变化趋势的实时监测、调查和评估, 实现生态保护红线常态化监管。一方面, 运用云计算、物联网等信息化手段, 通过遥感影像开展监测数据集成分析和综合应用, 对环境事故等风险自动识别, 提高生态保护红线管理决策科学化水平; 全面掌握生态系统构成、分布与土地利用动态变化, 开展突发性和累积性生态风险分析, 对风险源进行预测预警; 另一方面, 对人类干扰活动进行实时监控, 及时开展现场核查, 遏制破坏生态环境的行为。

4 结论

1) 2000—2020 年, 成渝城市群生态系统综合服务功能极重要和高度重要区面积增加 3.36 km² 和 7.84 km², 水土流失极敏感和高度敏感区面积减少 4.91 km² 和 6.13 km², 整体上呈现生态环境好转趋势。

2) 划定生态保护红线区域的总面积为 45 718.86 km², 占研究区的 24.71%, 主要集中在乐山、雅安、达州等地区, 土地利用类型以林地和耕地为主。研究期内生态保护红线区域土地利用变化较大, 其中草地、耕地和湿地的面积减少, 林地、水域和建设用地等土地利用类型的面积增加, 且草地和林地的面积变化最明显。

3) 生态保护红线区的 ESV 总量在研究期间呈上升趋势, 但增幅减小, 2000—2010 年和 2010—2020 年 ESV 总量的增幅分别为 1.17% 和 0.08%。从生态系统服务价值结构功能来看, 土壤保持、气体调节、生物多样性和水文调节占红线区域 ESV 的 61.68%; 从土地利用类型来看, 林地、耕地和草地对红线区 ESV 的贡献率分别为 77.79%, 15.34% 和 4.53%; 各土地利用类型的生态系统服务单位面积价值从大到小依次为水域、湿地、林地、灌丛。

参考文献:

- [1] 梁鑫源, 金晓斌, 朱凤武, 等. 长江中下游平原区生态保护红线的划定——以江苏省为例 [J]. 生态学报, 2020, 40(17): 5968-5979.
- [2] XU X B, TAN Y, YANG G S, et al. China's Ambitious Ecological Red Lines [J]. Land Use Policy, 2018, 79: 447-451.
- [3] LI Z G, SUN Z S, TIAN Y J, et al. Impact of Land Use/Cover Change on Yangtze River Delta Urban Agglomeration Ecosystem Services Value: Temporal-Spatial Patterns and Cold/Hot Spots Ecosystem Services Value Change Brought by Urbanization [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(1): 123-141.

- [4] 骆畅,李相逸,李淙钰. 基于生态系统服务价值评估的山地城市绿色空间规划策略——以重庆市主城区为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(5): 195-204.
- [5] 金声甜,肖文海,杨胜苏,等. 长江经济带土地利用变化及其生态系统响应 [J]. 经济地理, 2020, 40(7): 166-173.
- [6] COSTANZA R, DARGE R, DE GROOT R, et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital [J]. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 3-15.
- [7] 谢高地,张彩霞,张雷明,等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进 [J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [8] 吕霜霜,王子芳,王金柱,等. 基于 LUCC 的生态服务价值变化研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(9): 125-133.
- [9] 韩梦涛,涂建军,徐桂萍,等. 黄河流域水域生态系统服务与经济发展时空协调性 [J]. 中国沙漠, 2021, 41(4): 167-176.
- [10] 潘冬荣,闫浩文,韩天虎,等. 基于当量因子法的甘肃省草原生态系统服务价值评估 [J]. 草业科学, 2021, 38(9): 1860-1868.
- [11] 王崑,郑伊含,罗垚,等. “城市双修”导向下城市绿地生态网络规划策略研究——以黑龙江省桦南县中心城区为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(5): 182-194.
- [12] 王雅竹,段学军. 生态红线划定方法及其在长江岸线中的应用 [J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(11): 2681-2690.
- [13] 刘延国,李景吉,逯亚峰,等. 西南山区生态保护红线划定方法优化——基于生态地质环境脆弱性评估 [J]. 生态学报, 2021, 41(14): 5825-5836.
- [14] 林子雁,肖焱,史雪威,等. 西南地区生态重要性格局研究 [J]. 生态学报, 2018, 38(24): 8667-8675.
- [15] WANG J L, ZHOU W Q, PICKETT S T A, et al. A Multiscale Analysis of Urbanization Effects on Ecosystem Services Supply in an Urban Megaregion [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 662: 824-833.
- [16] 邓伟,周渝,张勇,等. 重庆市生态保护红线区生态系统服务价值时空演变特征及其驱动 [J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(1): 79-89.
- [17] 韩会庆,汪田归,陈思盈,等. 我国乡村生态体育公园建设及优化对生态系统服务价值的影响 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2021, 46(6): 150-157.
- [18] XIE Z L, LI X Z, CHI Y, et al. Ecosystem Service Value Decreases more Rapidly under the Dual Pressures of Land Use Change and Ecological Vulnerability: a Case Study in Zhujiajian Island [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2021, 201: 105493-1-105493-11.

责任编辑 潘春燕