

黔中喀斯特城市新区森林生态系统 水土保持及其生态效益

李亦秋^{1,2}, 邓欧^{1,2}, 李若霜³, 吴亚琳^{1,2}, 靳羽^{1,2}, 代正娇^{1,2}, 肖丽^{1,2}

(1.贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025;

2.贵州山地资源与环境遥感重点实验室, 贵州 贵阳 550025; 3.中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: [目的] 研究黔中喀斯特城市新区——贵州省贵阳市观山湖区森林生态系统的水土保持及其生态效益, 旨在科学评价该区生态建设成效, 为喀斯特城市新区资源环境可持续利用, 森林高质量发展提供科学依据。[方法] 基于多源遥感数据提取 2000、2010 和 2020 年观山湖区森林生态系统分布格局, 利用土壤保持模型和水量平衡方程计算土壤保持量和调节水量, 采用市场价值法和影子工程法计算其生态效益价值量。[结果] ①观山湖区森林生态系统面积 2000—2010 年从 10 892.74 hm² 增加到 15 571.90 hm²。随着城市扩张的加快, 森林面积持续减小, 到 2020 年减少为 13 937.54 hm²。由于生态工程和城市扩张的双向长消作用, 森林生态系统在过去 20 a 中的变化幅度很大。②森林生态系统的固土保肥和水量调节价值量总体上呈增长趋势, 单位面积生态效益有所提高, 但因森林生态系统面积减少, 固土保肥和水量调节生态效益增势趋缓。③单位面积土壤保持量大小顺序表现为: 针叶林 > 针阔混交林 > 灌木林 > 阔叶林 > 其他林; 调节水量大小顺序表现为: 针叶林 > 阔叶林 > 针阔混交林 > 灌木林 > 其他林; 针叶林固土保肥、水量调节生态效益价值总量最大, 灌木林次之。灌木林发挥着十分重要的固土保肥和水量调节生态效益。[结论] 观山湖区森林生态系统面积变化幅度大, 2000—2010 年面积大幅增长, 近年来呈现减少趋势, 但单位面积生态效益不断提高, 在固土保肥和水量调节方面发挥着重要作用。在城市新区开发中, 需要十分重视森林生态系统的保护。

关键词: 水土保持; 生态效益; 森林生态系统; 城市新区; 黔中喀斯特地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)04-0244-07

中图分类号: S157.1

文献参数: 李亦秋, 邓欧, 李若霜, 等. 黔中喀斯特城市新区森林生态系统水土保持及其生态效益[J]. 水土保持通报, 2022, 42(4): 244-250. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.04.031; Li Yiqiu, Deng Ou, Li Ruoshuang, et al. Soil and water conservation and ecological benefits of forest ecosystem in new urban karst areas of Central Guizhou Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(4): 244-250.

Soil and Water Conservation and Ecological Benefits of Forest Ecosystem in New Urban Karst Areas of Central Guizhou Province

Li Yiqiu^{1,2}, Deng Ou^{1,2}, Li Ruoshuang³, Wu Yalin^{1,2}, Jin Yu^{1,2}, Dai Zhengjiao^{1,2}, Xiao Li^{1,2}

(1.School of Geographic and Environments Sciences, Guizhou Normal University,

Guiyang, Guizhou 550001, China; 2.Guizhou Provincial Key Laboratory of Mountain

Resources and Environment Remote Sensing Application, Guiyang, Guizhou 550025, China;

3.School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: [Objective] Soil and water conservation and ecological benefits of forest ecosystem in the new urban karst areas of Guanshanhu District, Guiyang City in Central Guizhou Province were studied to scientifically evaluate the achievements of ecological construction, and to provide a scientific reference for the sustainable utilization of resources and the environment, and high-quality development of forests in new urban karst

收稿日期: 2022-04-24

修回日期: 2022-05-10

资助项目: 黔科合基础项目“喀斯特山地城市新区生态系统服务功能时空演变”([2019]1222), “黔中喀斯特山地黄壤对降雨的侵蚀响应过程与机制”([2020]1Z031), “黔中城市群核心区生态环境质量演变过程与机制”([2019]1218)

第一作者: 李亦秋(1973—), 女(汉族), 四川省达县人, 博士, 教授, 主要从事测绘与 3S 技术应用、生态遥感等方面的研究。Email: yqiu.li@163.com.

通讯作者: 邓欧(1973—), 男(汉族), 四川省达县人, 博士, 讲师, 主要从事 3S 技术应用、生态遥感等方面的研究。Email: cnfly@foxmail.com.

areas. [Methods] The distribution patterns of forest ecosystems at Guanshanhu District at 2000, 2010, and 2020 were extracted by using multi-source remote sensing data. The soil conservation and regulating water amount were calculated by a soil conservation model and the water balance equation. The ecological benefit value was calculated using the market value method and the shadow engineering method. [Results] ① The area of the forest ecosystem at Guanshanhu District increased from 10 892.74 hm² to 15 571.90 hm² during 2000—2010. Forest area decreased with the acceleration of urban expansion, and was 13 937.54 hm² by 2020. Due to the opposing influences of ecological engineering and urban expansion, the forest ecosystem has changed greatly during the past 20 years. ② The value of soil and fertilizer conservation and water regulation in the forest ecosystem generally showed an increasing trend, and the ecological benefits per unit area increased. However, due to the decrease in forest ecosystem area, the ecological benefits of soil and fertilizer conservation and water regulation increased slowly. ③ Soil conservation per unit area followed the order of coniferous forest > mixed coniferous and broad-leaved forest > shrub forest > broad-leaved forest > other forest. The regulated water amount followed the order of coniferous forest > broad-leaved forest > mixed coniferous and broad-leaved forest > shrub forest > other forest. The total value of the ecological benefits of soil fertility and water regulation in coniferous forest was the largest, followed by shrub forest. Shrub forest played a very important role in soil fertility and water regulation. [Conclusion] The forest ecosystem changed greatly at Guanshanhu District, and the area increased significantly from 2000 to 2010, but exhibited a decreasing trend in recent years. However, the per unit area ecological benefits increased continuously, and played an important role in soil and fertilizer conservation and water regulation. Forest ecosystem protection should be given great importance in the development of new urban areas.

Keywords: soil and water conservation; ecological benefits; forest ecosystems; new urban area; karst area of Central Guizhou Province

水是人类生命之源,土是人类生存之本,植被与水土之间的关系一直是科学研究的热点领域^[1]。贵州省的中部——黔中地区横跨长江和珠江上游,是两江上游重要的生态屏障^[2-4]。由于地处世界喀斯特东亚片区中心、西南喀斯特山区腹地,黔中喀斯特地貌的形成机制十分复杂,地层褶皱强烈,地形破碎。该区广泛分布的黄壤和石灰土可蚀性强,加上降雨量大且集中,土壤水蚀风险极高^[2-3]。喀斯特地区人地矛盾突出,加剧了水土流失,导致喀斯特石漠化现象。石漠化一直以来都是制约喀斯特地区发展的生态顽疾^[4-5]。基于对1998年长江流域特大洪涝灾害的深刻反思,在2000年前后国家启动了长江上中游天然林资源保护和退耕还林还草试点工程。为缓解石漠化带来的严重生态环境问题和区域贫困问题,2007年石漠化综合治理试点工程开始实施。在国家水土保持重点工程的带动下,黔中地区水土流失综合治理成效显著,也取得了大量关于喀斯特地区水土流失与水土保持方面的研究成果^[6-7]。由于喀斯特地表—地下水土流失的特殊性,喀斯特地区土壤侵蚀的机制和机理一直是土壤侵蚀领域的研究热点及重点,诸多研究从岩性、土壤、生物、地下水系统等方面探讨了喀斯特土壤退化、地表地下水土流失的机理^[8-11];喀斯特地区的水土流失特征^[12-15]、定量评价模型和预报研

究^[16-18]也呈快速增长趋势。在喀斯特石漠化治理区建立水土保持模式并针对此类治理所进行的效益评价的研究取得了一定的成就^[19-23],这些研究多针对石漠化水土流失治理项目区的经济效益和社会效益进行评价,缺乏对于生态系统水土保持服务生态效益及其价值化的定位定量研究。

在贵州省“加速发展、加快转型、推动跨越”的战略背景下,黔中地区社会经济稳步推进,城市化进程加速发展。随着城市化的进程,自然生态系统所对应的面积持续减少,生态系统服务受到巨大冲击,整体生态系统服务能力存在降低的风险。本文以黔中喀斯特城市新区——贵阳市观山湖区为研究对象,参考2020年3月发布的新版《森林生态系统服务功能评估规范(GB/T38582-2020)》^[24],借助RS和GIS强大的空间数据获取和分析功能,对喀斯特城市开发新区森林生态系统的水土保持及其生态效益进行定位定量研究,旨在为城市新区资源环境的可持续利用和森林资源保护提供科学基础,为生态文明试验区的建设模式创新提供决策支撑。

1 研究区概况

观山湖区于2012年11月经国务院批复在原金阳新区的基础上设立。就大流域而言,黔中地区处于

长江与珠江分水岭地带。从小流域位置来看,观山湖区又位于乌江支流猫跳河与南明河的分水岭。碳酸盐岩面积占 80% 以上,地势西南高,东北低。喀斯特丘陵与盆地、谷地、洼地相间,呈现出半边山水半边城的分布格局。观山湖区属中北亚热带高原季风湿润性气候区,多年平均气温 15.3 °C,最冷月(1 月)平均 5.1 °C,最热月(7 月)平均 24.0 °C,冬无严寒,夏无酷暑。多年平均降水量 1 095.6 mm,主要集中在 5—10 月。温暖湿润的气候条件下发育了多样的生态系统类型,森林、农田和淡水生态系统依喀斯特地貌相伴而生。由于地处双重分水岭地带,观山湖区不仅是重要的生态保护地,也发挥着重要的水源涵养、水土保持等多种生态服务功能。

2 数据与方法

2.1 数据来源与预处理

遥感数据源包括 2000 年 Landsat TM,2010 年

ETM⁺,2020 年高分 2 号遥感影像,主要从国家的地理信息监测云平台获取(<http://www.dsac.cn/Data-Product/Index/1002>),经辐射校正、几何精校正、图幅拼接和裁剪等预处理,得到观山湖区遥感影像。2000,2010 和 2020 年的日降水和日蒸散发数据,从国家气象信息中心获取(<http://data.cma.cn/>)。另外还包括从观山湖区及其周边地方气象监测站点获取的降水和蒸散发数据。高精度 DEM 数据从 <https://srtm.csi.cgiar.org/> 获取。土壤沙粒、粉粒、黏粒和有机质含量由中国土壤数据库(<http://vdb3.soil.csdb.cn/>) 获取。

2.2 研究方法

2.2.1 森林生态系统保育土壤和水量调节及其价值化方法 参考新版《森林生态系统服务功能评估规范(GB_T38582-2020)》^[24] 确定保育土壤和水量调节及其价值化计算方法,具体计算公式及相关变量说明详见表 1。

表 1 固土保肥量和水量调节及其价值化计算方法

生态效益	计算公式	变量说明
固土保肥	$SK = M \times (A_q - A_r)$	SK 为土壤保持量(t/a); M 为面积(hm ²); A _q 为潜在土壤侵蚀模数[t/(hm ² ·a)]; A _r 为实际土壤侵蚀模数[t/(hm ² ·a)]
	$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$	A 为土壤侵蚀模数[t/(hm ² ·a)]; R 为降雨侵蚀力因子[(MJ·mm)/(hm ² ·h·a)]; K 为土壤可蚀性因子[(t·hm ² ·h)/(hm ² ·MJ·mm)]; L 为坡长因子; S 为坡度因子; C 为植被覆盖因子; P 为水土保持措施因子
	$V_a = \sum SK \times C_i \times P_i (i = N, P, K)$	V _a 为保肥价值(元/a); C _i 为土壤 N,P,K,有机质含量(t); P _i 为 N 肥、P 肥、K 肥(折纯量)和有机肥市场价格
	$V_b = SK \div \rho \times p$	V _b 为固土价值(元/a); ρ 为土壤容重(t/m ³); p 为挖掘和运输土方费用(元/m ³)
	$V_{sk} = V_a + V_b$	V _{sk} 为土壤保持总价值(元/a)
水量调节	$G = 10 \times A \times (P - E - Q)$	G 为调节水量(m ³ /a); A 为面积(hm ²); P 为年降雨量(mm/a); E 为实际蒸散量(mm/a); Q 为地表径流量(mm/a)
	$V_w = G \times C_w$	V _w 为调节水量价值(元/a); C _w 为水库建设单位库容投资(元/m ³)

2.2.2 森林生态系统保育土壤和水量调节物理量计算相关参数的获取和计算方法 降雨侵蚀力因子年 R 值采用研究区及周边站点侵蚀性降水的 $\sum EI_{30}$ 计算;K 值直接利用贵州省第一次水利普查成果数据;坡长坡度因子 LS 值采用经过改进的计算式^[25-26];植被覆盖因子 C 根据年平均地表覆盖度分级和通过查表作为估算结果;水土保持措施因子 P 根据工程措施和土地利用赋值;实际蒸散量 E 根据 Budyko 曲线^[27] 估算;地表径流量 Q 根据不同类型森林生态系统的径流系数计算。

2.2.3 定价方法 固土保肥价值采用市场价值法定价,水量调节价值采用影子工程法定价。影子工程法是在环境遭到破坏后,以人工建造一个具有类似环

境功能的替代工程的费用表示其环境价值的估价方法。为了便于对 2000,2010 和 2020 年的价值进行比较,具体的定价过程中采用可比价格,可比价格是扣除了价格变动因素的价格。可比价格有两种定价方法:一是直接采用某一年的不变价格计算,另一种是用价格指数进行缩减。本文固土保肥价值采用市场法定价,可比价采用居民消费价格指数进行缩减的方法定价;水量调节单位库容投资按多年平均不变价格计算。

3 结果与分析

3.1 森林生态系统格局与结构变化

将森林生态系统分为针叶林、阔叶林、针阔混交

林、灌木林和其他林 5 种类别,依据影像光谱特征和纹理特征,结合已有的相关土地覆被/土地利用信息和野外调查样本数据,建立解译标志和样本数据库,采用 eCognition 面向对象的图像自动分类技术,辅助人机交互解译,提取森林生态系统空间分布数据,采

用随机验证样本建立混淆矩阵。影像分类总体精度在 2000 年、2010 年和 2020 年分别为 88.86%, 89.28% 和 92.79%。

观山湖区 2000, 2010 和 2020 年森林生态系统空间分布格局及其动态变化状况如图 1 所示。

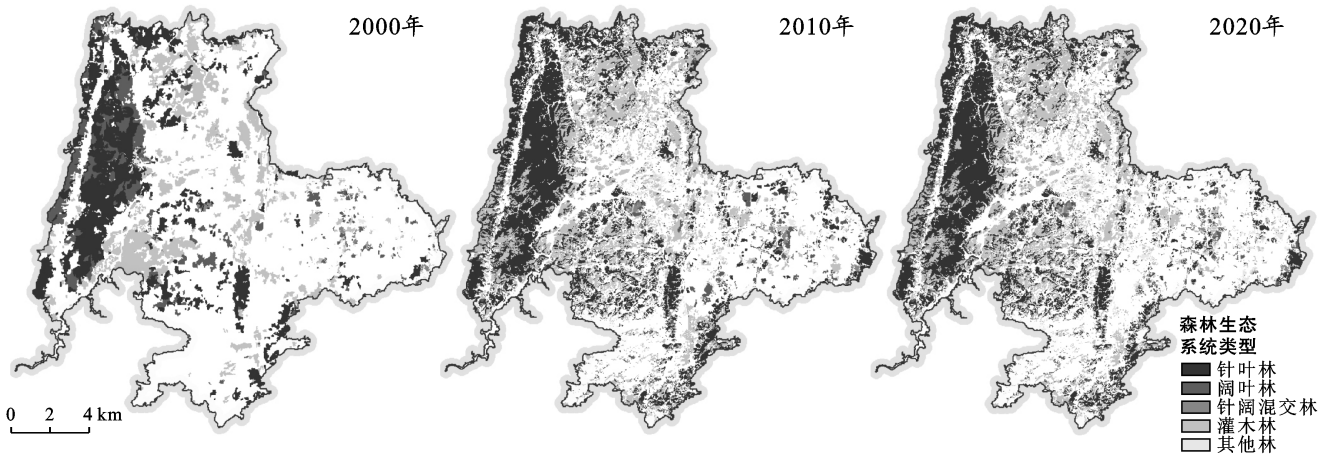


图 1 观山湖区森林生态系统空间分布格局及其变化

根据图 1, 观山湖区 2000, 2010 和 2020 年森林生态系统的构成及其变化统计结果详见表 2。自 1998 年各项国家生态工程的实施以来, 观山湖区森林生态系统从 2000 年的 10 892.74 hm^2 增长到 2010 年 15 571.90 hm^2 , 净增 4 679.16 hm^2 , 总面积比例增幅达 15.24%。

随着 2012 年观山湖区的成立和城市扩张的加快, 到 2020 年其面积持续减少(为 13 937.54 hm^2), 比 2010 年净减少 1 634.36 hm^2 。观山湖区森林生态

系统中针叶林的面积最大, 2000—2020 年的变化幅度也很大, 2000 年、2010 年和 2020 年分别是 4 690.55, 7 466.22 和 7 322.37 hm^2 , 面积比例分别是 15.28%, 24.32% 和 23.86%。其次是灌木林, 面积比例分别是 12.30%, 20.52% 和 13.60%。阔叶林、针阔混交林和其他林的总比例均不超过 10.00%。总体上, 由于生态工程和城市扩张的双向长消作用, 观山湖区森林生态系统在近 20 a 中的变化幅度较大, 随着城市的进一步扩张呈现出减少趋势。

表 2 观山湖区森林生态系统的构成及其变化统计

森林生态系统类型	2000 年		2010 年		2020 年	
	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%
针叶林	4 690.55	15.28	7 466.22	24.32	7 322.37	23.86
阔叶林	2 197.10	7.16	1 193.91	3.89	1 180.01	3.84
针阔混交林	86.97	0.28	154.32	0.50	165.42	0.54
灌木林	3 775.42	12.30	6 299.80	20.52	4 173.64	13.60
其他林	142.70	0.46	457.66	1.49	1 096.10	3.57
总计	10 892.74	35.49	15 571.90	50.73	13 937.54	45.41

3.2 土壤保持量及其固土保肥生态效益

按照表 1 中土壤保持量计算方法, 在计算各因子图层的基础上, 经 ArcGIS 建模运算, 计算得到观山湖区 2000, 2010 和 2020 年森林生态系统土壤保持量分布格局及变化如图 2 所示。根据图 2 提取各类型森林生态系统单位面积土壤保持量, 再计算各类型森

林生态系统土壤保持总量。根据观山湖区及其周边 45 个土壤剖面, 分析得土壤中全氮平均含量为 0.101%, 全磷平均含量为 0.057%, 全钾平均含量为 1.523%, 土壤有机质含量为 1.86%。采用市场价值法对固土保肥价值进行估算, 2020 年磷酸二铵市场价按 2 360 元/t 计算(含氮量 14%, 含磷量 15.1%),

氯化钾价格按 2 300 元/t 计算(含钾 50%),有机肥按 700 元/t 计算(含有机质 40%),挖方和运输费按 80 元/m³ 计算,土壤容重取 1.35 g/cm³。2000 和 2010 年价格根据价格指数推算,2000 年磷酸二胺和氯

化钾的可比价分别是 1 497.08,1 459.02 元/t;2010 年磷酸二胺和氯化钾的可比价分别是 1 825.09,1 778.69 元/t。计算得到观山湖区森林生态系统土壤保持量及其固土保肥生态效益价值量(详见表 3)。

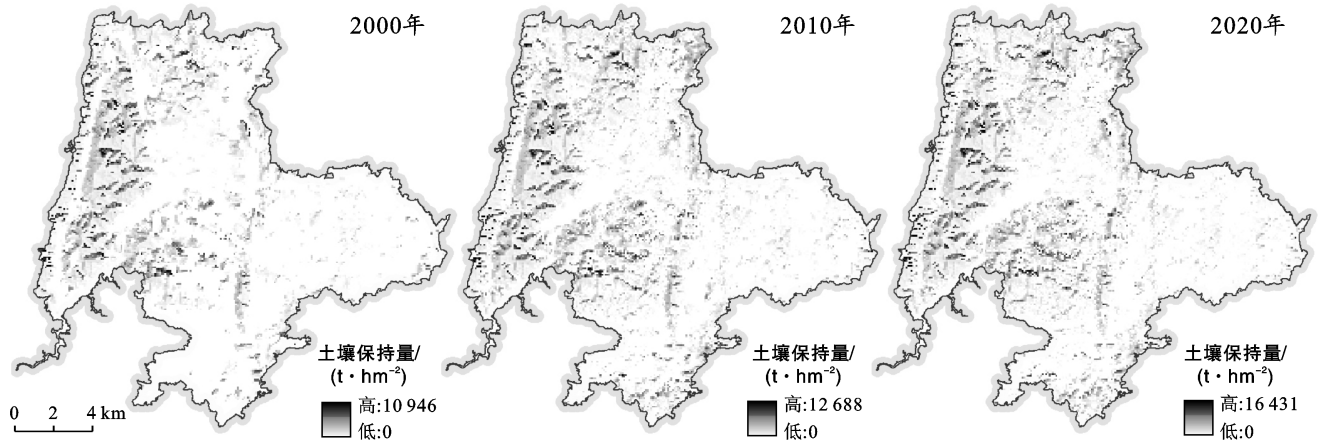


图 2 观山湖区森林生态系统土壤保持量分布格局及其变化

据表 3 可知,观山湖区的森林生态系统的固土保肥生态效益呈增长趋势,2000 年、2010 年和 2020 年固土保肥生态效益价值量分别为 22.73 亿元、30.66 亿元和 35.22 亿元。2010—2020 年,随着城市扩张森林生态系统面积的减少,固土保肥生态效益增势趋缓,部分由于森林生态系统质量提高而提高的单位面积固土保肥生态效益,被因减少的森林生态系统面积生态效益所抵消,在城市新区开发中,要高度重视森林生态系统的保护。单位面积土壤保持量:针叶林>

针阔混交林>灌木林>阔叶林>其他林;森林生态系统固土保肥生态效益价值总量针叶林最大,2000 年、2010 年和 2020 年分别为 10.94 亿元、16.84 亿元和 21.56 亿元;其次是灌木林,分别为 7.33 亿元、11.36 亿元和 9.93 亿元。观山湖区喀斯特山地灌木林分布的面积大、范围广,灌木林生态系统发挥着十分重要的固土保肥生态效益,2020 年灌木林的固土保肥生态效益低于 2010 年,在城市新区开发中,要高度重视灌木林生态系统的保护。

表 3 观山湖区森林生态系统土壤保持及其固土保肥生态效益价值量

森林生态系统类型	2000 年			2010 年			2020 年		
	单位面积土壤保持量/(t·hm ⁻²)	土壤保持总量/10 ⁴ t	固土保肥价值量/10 ⁸ 元	单位面积土壤保持量/(t·hm ⁻²)	土壤保持总量/10 ⁴ t	固土保肥价值量/10 ⁸ 元	单位面积土壤保持量/(t·hm ⁻²)	土壤保持总量/10 ⁴ t	固土保肥价值量/10 ⁸ 元
针叶林	1 304.28	611.78	10.94	1 260.90	941.42	16.84	1 646.21	1 205.42	21.56
阔叶林	1 009.07	221.70	3.97	807.12	96.36	1.72	986.37	116.39	2.08
针阔混交林	1 233.87	10.73	0.19	1 032.13	15.93	0.28	1 443.11	23.87	0.43
灌木林	1 084.94	409.61	7.33	1 008.44	635.29	11.36	1 330.08	555.13	9.93
其他林	688.03	9.82	0.18	543.70	24.88	0.45	620.98	68.07	1.22
总计	1 167.43	1 271.65	22.61	1 100.62	1 713.88	30.66	1 412.64	1 968.87	35.22

3.3 水量调节及其生态效益

按照表 1 中水量调节计算方法计算得到观山湖区 2000,2010 和 2020 年森林生态系统调节水量分布格局及其变化如图 3 所示。

根据图 3 提取各类型森林生态系统单位面积的调节水量,再计算各类型森林生态系统调节水量的总

量。采用影子工程法对水量调节价值进行估算。单位库容投资按近年来观山湖区均价 45.91 元/m³ 计算,得到观山湖区森林生态系统调节水量及其水量调节生态效益价值量统计结果(详见表 4)。据表 4 可知,观山湖区的森林生态系统水量调节生态效益呈增长趋势。2000,2010 和 2020 年水量调节生态效益

价值量分别为 18.78、26.10 和 27.74 亿元。2010—2020 年,随着城市扩张森林生态系统面积的减少,水量调节生态效益微弱增长。与固土保肥生态效益相同,部分由于森林生态系统质量提高而提高的单位面积水量调节生态效益,被因减少的森林生态系统面积生态效益所抵消。单位面积森林生态系统调节水量:针叶林>阔叶林>针阔混交林>灌木林>其他林;森

林生态系统水量调节生态效益价值总量针叶林最大,2000 年、2010 年和 2020 年分别为 9.55、14.47 和 18.18 亿元;其次是灌木林,3 个年份分别为 5.27、9.28 和 6.08 亿元。灌木林生态系统的水量调节生态效益同样不容忽视,在城市新区开发中,喀斯特灌木林生态系统遭受到了比较大的破坏,水量调节生态效益价值呈现减少趋势。

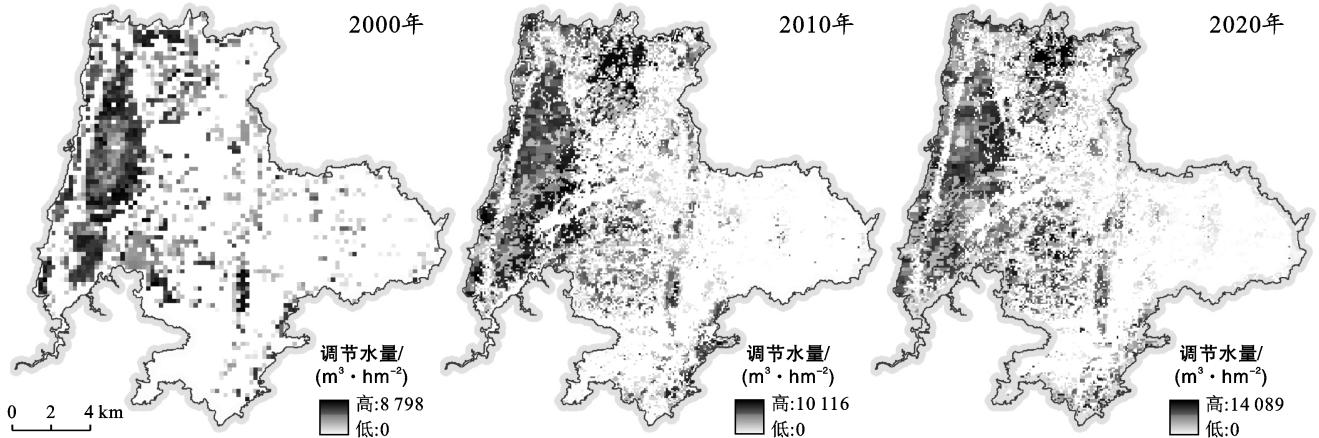


图 3 观山湖区森林生态系统调节水量分布格局及其变化

表 4 观山湖区森林生态系统水量调节及其生态效益价值量

森林生态系统类型	2000 年			2010 年			2020 年		
	单位面积调节水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	总调节水量/ 10^4 m^3	水量调节价值量/ 10^8 元	单位面积调节水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	总调节水量/ 10^4 m^3	水量调节价值量/ 10^8 元	单位面积调节水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	总调节水量/ 10^4 m^3	水量调节价值量/ 10^8 元
针叶林	4 432.77	2 079.21	9.55	4 220.00	3 150.74	14.47	5 407.33	3 959.45	18.18
阔叶林	3 665.66	805.38	3.70	3 217.50	384.14	1.76	3 754.34	443.02	2.03
针阔混交林	3 282.93	28.55	0.13	2 892.40	44.64	0.20	3 441.02	56.92	0.26
灌木林	3 039.44	1 147.52	5.27	3 210.10	2 022.30	9.28	3 174.65	1 324.98	6.08
其他林	2 062.16	29.43	0.14	1 822.30	83.40	0.38	2 343.15	256.83	1.18
总计		4 090.09	18.78		5 685.22	26.10		6 041.20	27.74

4 结论

(1) 自 1998 年各项国家生态工程实施以来,观山湖区森林生态系统从 2000 年的 $10\ 892.74 \text{ hm}^2$ 增长到 2010 年 $15\ 571.90 \text{ hm}^2$,净增 $4\ 679.16 \text{ hm}^2$;随着 2012 年观山湖区的成立,城市扩张的加快,到 2020 年其面积减少为 $13\ 937.54 \text{ hm}^2$ 。观山湖区森林生态系统中针叶林的面积最大,其次是灌木林。由于生态工程和城市扩张的双向长消作用,观山湖区森林生态系统在过去 20 a 中的变化幅度较大,随着城市的进一步扩张呈现出减少趋势。

(2) 观山湖区森林生态系统的固土保肥和水量调节生态效益在研究期均呈现增长趋势。2000、2010

和 2020 年固土保肥生态效益价值量分别为 22.73、30.66 和 35.22 亿元。水量调节生态效益价值量分别为 18.78、26.10 和 27.74 亿元。随着城市扩张森林生态系统面积的减少,固土保肥和水量调节生态效益增势趋缓,部分由于森林生态系统质量提高而提高的单位面积生态效益,被因减少的森林生态系统面积生态效益所抵消。因此,在城市新区开发中,要高度重视森林生态系统的保护。

(3) 单位面积森林生态系统土壤保持量表现为:针叶林>针阔混交林>灌木林>阔叶林>其他林;调节水量表现为:针叶林>阔叶林>针阔混交林>灌木林>其他林;森林生态系统固土保肥、水量调节生态效益价值总量来看,均是针叶林最大,灌木林次之。

灌木林生态系统发挥着十分重要的固土保肥、水量调节生态效益。灌木林生态效益价值总量有减少趋势。由于观山湖区喀斯特山地灌木林分布的面积大,范围广,在城市新区开发中,要十分重视灌木林生态系统的保护。

本文以新版《森林生态系统服务功能评估规范(GB/T38582-2020)》为参考,对黔中喀斯特城市新区——观山湖区的森林生态系统水土保持及其生态效益及其变化进行了定位定量评估,既能够彰显观山湖区 20 a 来各项国家生态工程建设的成就,又能为城市新区未来发展和生态文明建设提供科学参考。

[参 考 文 献]

- [1] Guo Zhongsheng. Soil hydrology process and sustainable use of soil water resources in desert regions [J]. *Water*, 2021, 13(17):2377.
- [2] 戴全厚,严友进.西南喀斯特石漠化与水土流失研究进展[J].*水土保持学报*, 2018, 32(2):1-10.
- [3] 王世杰.喀斯特石漠化——中国西南最严重的生态地质环境问题[J].*矿物岩石地球化学通报*, 2003, 32(2):120-126.
- [4] Li R, Li Q, Pan L. Review of organic mulching effects on soil and water loss [J]. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2021, 67(1):136-151.
- [5] 黄会前,何腾兵,牟力.贵州母岩(母质)对土壤类型及分布的影响[J].*浙江农业科学*, 2016, 57(11):1816-1820.
- [6] 张信宝.贵州石漠化治理的历程,成效,存在问题与对策建议[J].*中国岩溶*, 2016, 35(5):497-502.
- [7] 颜萍,熊康宁,王恒松,等.喀斯特地区水土流失与水土保持研究进展[J].*中国水土保持*, 2016(1):54-59.
- [8] 熊康宁,李晋,龙明忠.典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J].*地理学报*, 2012, 67(7):878-888.
- [9] 宋同清,彭晚霞,杜虎,等.中国西南喀斯特石漠化时空演变特征,发生机制与调控对策[J].*生态学报*, 2014, 34(18):5328-5341.
- [10] 王恒松,熊康宁,刘云.喀斯特区地下水土流失机理研究[J].*中国水土保持*, 2009(8):11-14.
- [11] 唐益群,张晓晖,周洁,等.喀斯特石漠化地区土壤地下漏失的机理研究:以贵州普定县陈旗小流域为例[J].*中国岩溶*, 2010, 29(2):121-127.
- [12] 高华端,李锐.贵州省地质背景下的区域水土流失特征[J].*中国水土保持科学*, 2006, 4(4):26-32.
- [13] 周运超,王世杰,卢红梅.喀斯特石漠化过程中土壤的空间分布[J].*地球与环境*, 2010, 38(1):1-7.
- [14] 史鹏韬,刘子琦,李开萍.贵州省水土流失时空变化特征[J].*地球与环境*, 2019, 47(5):586-593.
- [15] 杨青,杨广斌,赵青松,等.喀斯特地区不同降雨和植被覆盖的坡面产流产沙特征[J].*水土保持通报*, 2020, 40(1):9-16.
- [16] 赵海兵,安裕伦,夏品华,等.基于 GIS 的喀斯特流域土壤侵蚀模数估算:以贵阳麦西河流域为例[J].*水土保持研究*, 2011, 18(5):99-103.
- [17] Bai X Y, Wang S J, Xiong K N. Assessing spatial-temporal evolution processes of karst rocky desertification land: indications for restoration strategies [J]. *Land Degradation & Development*, 2013, 24(1):47-56.
- [18] 孙德亮,赵卫权,李威,等.基于 GIS 与 RUSLE 模型的喀斯特地区土壤侵蚀研究:以贵州省为例[J].*水土保持通报*, 2016, 36(3):271-276.
- [19] 王志杰,代磊.黔中喀斯特山地城市土地利用/覆被变化及其生态效应评价:以贵阳市花溪区为例[J].*生态学报*, 2021, 41(9):3429-3440.
- [20] Xiuqina W, Yunlong C, Tao Z. Effects of land use/land cover changes on rocky desertification—a case study of a small karst catchment in Southwestern China [J]. *Energy Procedia*, 2011, 5:1-5.
- [21] 颜萍,熊康宁,檀迪,等.喀斯特石漠化治理不同水土保持模式的生态效应研究[J].*贵州师范大学学报:自然科学版*, 2016, 34(1):1-7.
- [22] 张芳挺,熊康宁,陈浒,等.喀斯特高原山地水土流失影响因素及生态效益评价:以贵州毕节石桥小流域为例[J].*水土保持研究*, 2009, 16(5):88-92.
- [23] 吴鹏,朱军,崔迎春,等.喀斯特地区石漠化综合治理生态效益指标体系构建及评价:以杠寨小流域为例[J].*中南林业科技大学学报*, 2014, 34(10):95-101.
- [24] 国家林业和草原局.GB/T38582-2020 森林生态系统服务功能评估规范[EB/OL].<http://www.sdlycyw.com/site/content/266.html>.
- [25] 江忠善,刘志,贾志伟.地形因素与坡地水土流失关系的研究[J].*水土保持研究*, 1990(2):1-8.
- [26] 刘宝元,谢云,张科利.土壤侵蚀预报模型[M].北京:中国科学技术出版社, 2001.
- [27] Budyko M I. *Climate and Life* [M]. San Diego, California, USA: Academic Press, 1974.