

李青松, 苏维词, 吕思思. 基于“源—汇”理念的黔中“两湖一库”地区土地利用变化及驱动力分析[J]. 中国岩溶, 2022, 41(6): 928-939.

DOI: 10.11932/karst2021y34

基于“源—汇”理念的黔中“两湖一库”地区 土地利用变化及驱动力分析

李青松^{1,3}, 苏维词^{1,2}, 吕思思²

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 401331; 2. 贵州省山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001;
3. 屏山县自然资源和规划局, 四川 屏山 645350)

摘要:“两湖一库”是典型的喀斯特高原湖泊, 湖库周边生态环境极为脆弱, 其土地利用变化对所在区域生态安全/供水安全及社会经济发展带来重要影响。基于“源—汇”理念和黔中“两湖一库”地区1998—2018年4期遥感解译数据, 采用土地利用动态模型分析近20年来“两湖一库”地区土地利用动态演变规律, 并运用定量与定性分析相结合的方法探究其驱动力。结果表明: (1) 1998—2018年建设用地、林地、未利用土地(主要为暂时性未利用土地)面积不断增加, 水域面积波动减少, 耕地、草地面积持续减少, 其中建设用地和未利用土地在各时段均为变化最活跃的地类。(2) 年均综合土地利用动态度由1998—2008年的1.33%提高至2008—2013年的2.4%和2013—2018年的2.3%。近10年各地类间的相互转换较10年前更为活跃。(3) 主要的土地利用“源—汇”转换关系表现为耕地转为林地和建设用地、草地转为林地和耕地。(4) 各地类加速向建设用地转换, 建成区面积迅速扩张, “两湖一库”供水压力进一步增大。(5) 人口压力、经济发展等因素是“两湖一库”地区建设用地扩张的主要驱动因素, 政策因素对林地和水域面积变化有重要影响。研究结果可以为“两湖一库”地区土地利用、规划及社会—经济—生态协调发展提供参考。

关键词:“源—汇”理念; 土地利用; 驱动力; “两湖一库”地区; 喀斯特区

中图分类号: X24; F301.2 文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2022)06-0928-12

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

土地利用变化是人类活动和自然因素共同作用的结果, 直接影响着区域生态系统结构和生态承载力^[1]。随着全球工业化、城镇化的不断推进, 全球土地利用方式和生态环境正经历着一个快速变化时期。

早在1995年, 由IGBP和IHDP组织联合提出的“土地利用/土地覆盖变化”(LUCC)研究就已经成为全球变化研究的前沿和热点^[2]。2016年, 由自然资源部印发的《全国土地利用总体规划纲要(2006—2020)调整方案》中明确提出要不断优化土地利用结构, 推进生态文明建设^[3]。“两湖一库”指的是红枫湖、百

基金项目: 贵州省科技支撑计划项目“两湖一库流域山水林田湖生命共同体健康评价及调控技术途径研究”(黔科合支撑S[2020]4Y008号); 贵州省科学技术基金(黔科合基础[2020]1Y410); 国家自然科学基金项目(42161052)

第一作者简介: 李青松(1995—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为区域经济与可持续发展。E-mail: qingsong625@126.com。

通信作者: 苏维词(1965—), 男, 研究员, 主要从事喀斯特地区及三峡库区资源环境与可持续发展方面的研究。E-mail: suweici@sina.com。

收稿日期: 2021-04-08

花湖和阿哈水库,是贵阳市和贵安新区的主要饮用水源地,处于黔中城市群的中心腹地,生态地位极为重要;区内喀斯特发育典型、生态环境脆弱,人类活动强烈,随着城镇化进程的快速推进,土地利用覆盖变化显著,并深刻影响水源地生态安全和黔中城市群发展的供水安全。研究“两湖一库”地区土地利用动态演变规律,揭示水源地存在的主要风险问题,对于采取针对性措施、推动饮用水源地土地利用结构优化具有重要意义。

当前学界对饮用水源地进行的研究主要围绕水源地安全评价^[4]、农业面源污染^[5]、水环境治理^[6]等方面展开,而对饮用水源地及周边地区土地利用动态演变规律及驱动力进行的研究较少。土地利用变化相关研究主要包括对流域^[7-9]、喀斯特地区^[10]、城市^[11]等不同尺度和区域的土地利用动态演变、预测及驱动力分析等。就喀斯特地区而言,熊康宁等^[12]以贵州省不同尺度的喀斯特地区作为研究对象,探讨其土地动态变化过程,徐倩等^[13]以喀斯特地区小尺度村域为研究对象,基于高分辨率影像分析土地利用与景观格局演变趋势,赵宇鸾等^[14]则对喀斯特地区山—坝系统的土地利用耦合演化过程及驱动机制等进行了初步探讨,针对喀斯特地区土地利用变化进行的大量研究为喀斯特地区土地合理利用提供了科学参考。在土地利用变化研究方法上,单一/综合土地利用动态度、土地利用转移矩阵等方法运用最广^[8-9],此外,田雨等^[15]采用景观指数、地形位指数及分布指数等方法分析重庆市渝北区在不同地形、坡度下的土地利用景观格局,陈磊等^[16]采用信息熵和SMM模型分析了2005—2016年南京市土地利用结构的时空演变规律,刘明皓等^[17]基于“源—汇”理念,从地类活跃度、地类用途转换波动度层面对重庆市主城区各地类的转入转出动态进行了深入分析,提供了一种土地利用动态研究的新角度。“源—汇”理念最初是由陈利顶等^[18]提出用于分析景观格局与生态过程的一种方法,将“源—汇”理念运用于土地利用动态演变分析,能够更加深入地探究土地利用变化过程中各地类相互转换的动态过程。在驱动力研究方法上,廖慧、童威、张佰发等^[19-21]分别运用主成分分析法、地理探测器模型以及多元线性回归模型定量分析土地利用变化的主要驱动力,李孝永等^[22]利用Pearson's相关系数法分析社会经济因素对京津冀地区城市用地变化的影响,而政策因素则采

用定性方法进行分析,此外,吕婷婷等^[23]采用定性分析的方法研究了气候、人类活动和宏观政策对1986—2018年白洋淀土地利用变化的影响。可见,定量与定性分析在当前土地利用变化驱动力研究中均有广泛运用。基于此,本文以黔中“两湖一库”地区为研究对象,基于“源—汇”理念和1998—2018年“两湖一库”地区4期遥感解译数据,分析近20年来“两湖一库”地区土地利用动态演变过程,并运用定量与定性分析相结合的方法探究其主要驱动力,为喀斯特饮用水源地土地合理利用及水源保护提供参考借鉴。

1 研究区概况

“两湖一库”地区是红枫湖、百花湖和阿哈水库三处饮用水源地及周边地区的简称,位于贵州省中部(105°59'E~106°55'E、26°11'N~26°56'N),是贵阳市和贵安新区的主要饮用水源地,也是黔中城市群未来进一步发展的主要供水源。本研究根据县级行政边界划定“两湖一库”地区研究范围(图1),覆盖贵阳市的南明区、云岩区、花溪区、观山湖区、清镇市以及安顺市的平坝区,总面积3 954.581 km²。2018年,全区常住人口375.26万人,GDP 2 926.85亿元,占全省GDP的19.77%。研究区内碳酸盐岩出露面积占85%以上,喀斯特地貌极为典型,地势起伏较大,以残蚀溶丘、河谷、山间盆地为主,生态环境脆弱。作为全省经济最活跃的地区,土地利用方式变化较快,区域内生态环境面临较大压力^[24]。

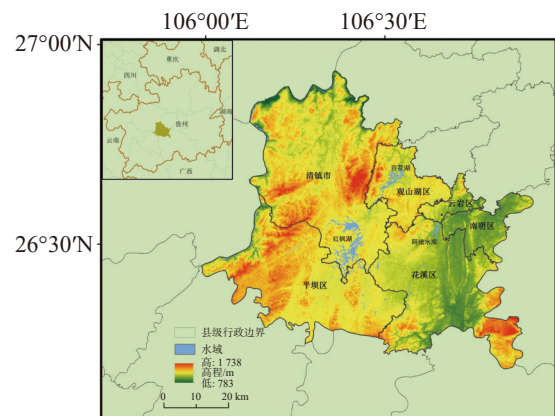


图1 “两湖一库”地区区位及地势图

Fig. 1 Location and topography of "Two Lakes and One Reservoir" area

2 数据与方法

2.1 数据来源

本研究采用 1998 年、2008 年、2013 年、2018 年共 4 个时期, 时间跨度共 20 年的 Landsat4-5TM 及 Landsat8 OLI 遥感数据(分辨率为 30 m), 遥感数据及 DEM 数字高程数据均来源于地理空间数据云网站 (<http://www.gscloud.cn/>); 社会经济数据来源于相应年份的《贵阳市统计年鉴》和《安顺市统计年鉴》。

根据生态足迹模型中关于生物生产土地的分类标准, 将研究区内 4 期土地利用类型共划分为 6 类: 林地、草地、水域、耕地、建设用地和未利用土地。利用 ENVI 5.2 对遥感数据进行几何校正、裁剪、大气校正等预处理; 再运用监督分类法对遥感图像进

行人机交互解译, 并借助 Google Earth 高分辨率影像、野外实地验证等方法进行辅助解译与精度验证, 结果显示 4 期土地利用分类的 Kappa 系数均大于 85%, 满足研究精度要求; 最后利用 ArcGIS10.4.1 绘制 4 期土地利用类型分布图(图 2)。

2.2 研究方法

为定量分析“两湖一库”地区土地利用动态变化情况, 本文根据解译的土地利用数据, 运用单一/综合土地利用动态度、土地利用类型转移矩阵及土地利用用途转换波动度等方法对 1998—2018 年“两湖一库”地区土地利用动态变化进行量化分析。

(1) 单一土地利用动态度^[9]用于反映研究区某一土地利用类型面积在一定时段内的年际变化率, 便于对各类型土地利用变化情况进行具体分析, 其表达式为:

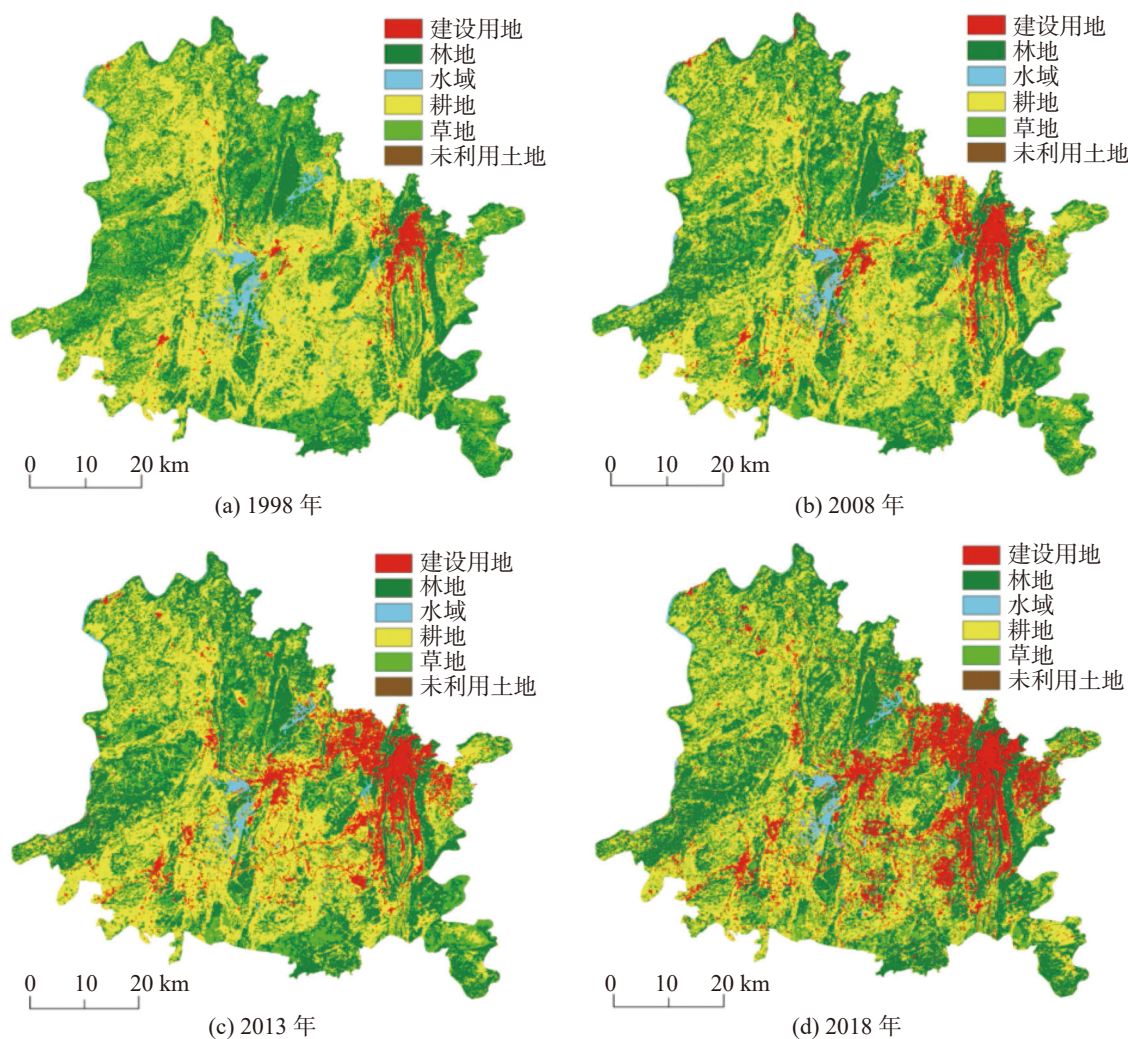


图 2 1998-2018 年“两湖一库”地区土地利用类型

Fig. 2 Land use types of "Two Lakes and One Reservoir" area from 1998 to 2018

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K 表示某一土地利用类型面积的年际变化率; U_b 和 U_a 分别表示某一土地利用类型研究末期和初期的面积; T 为研究时段年数。

(2)综合土地利用动态度^[25]用于反映研究区内各土地利用类型面积在一定时段内的综合年际变化率,其表达式为:

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: LC 表示一定时段内各土地利用类型的综合年际变化率; LU_i 表示监测开始时第 i 类土地利用类型的面积; ΔLU_{i-j} 表示监测时段内第 i 类土地利用类型转化为第 j 类土地利用类型面积的绝对值; T 为研究时段年数; n 为土地利用类型的数量。

(3)土地利用类型转移矩阵可以反映研究区内各时段各土地利用类型的结构特征及转移变化的来源^[19],其表达式为:

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: S 表示土地利用转移矩阵; S_{mn} 为面积; i, j ($i, j = 1, 2, \dots, n$) 分别表示研究初期和末期的土地利用类型。

(4)根据已有的研究^[17],引入“源—汇”理念分

析1998年—2018年“两湖一库”地区各土地利用类型之间的相互转换关系。“源”是各地类向某一目标地类转出的过程,“汇”是各地类向某一目标地类转入的过程,“源”相对于“汇”是多对一的关系,“汇”相对于“源”是一对多的关系。

在“源”“汇”理念的基础上,运用变异系数从“源”和“汇”两方面分析各地类间转出和转入的波动情况,其中“源”变异系数表示各地类向某一目标地类转出的波动情况,“汇”变异系数表示各地类向某一目标地类转入的波动情况。其计算公式为:

$$Cv = \frac{\delta}{\bar{x}} \times 100\% \quad (4)$$

式中: Cv 表示“源”或“汇”变异系数, δ 表示各地类间年均转入或转出量的标准差, \bar{x} 表示各地类间年均转入或转出量的平均数, Cv 越大表示地类间转换波动越大,反之则越小。

3 结果分析

3.1 土地利用变化分析

3.1.1 土地利用结构变化分析

经对研究区4期遥感影像的解译和统计分析,并结合式(1-2)得到研究区各时期土地利用面积及动态变化情况(表1)。

表1 1998—2018年“两湖一库”地区土地利用变化情况

Table 1 Land use change in "Two Lakes and One Reservoir" area from 1998 to 2018

土地利用类型	各时期面积变化/km ²				年均单一土地利用动态度/%		
	1998	2008	2013	2018	1998—2008年	2008—2013年	2013—2018年
建设用地	105.10	239.90	380.17	550.83	12.83	11.69	8.98
林地	1 437.37	1 465.50	1 516.65	1 518.09	0.20	0.70	0.02
水域	77.76	63.59	62.57	66.80	-1.82	-0.32	1.35
耕地	1 900.04	1 849.50	1 800.96	1 622.47	-0.27	-0.52	-1.98
草地	417.29	309.53	154.58	132.26	-2.58	-10.01	-2.89
未利用土地	9.50	18.80	32.20	56.28	9.79	14.26	14.96
综合土地利用动态度/%	-	-	-	-	1.33	2.40	2.30

从各地类结构看,研究期内耕地和林地占比最大,一直是“两湖一库”地区最主要的土地利用类型^[26]。从各地类面积变化看,建设用地快速增长,近5年(2013—2018年)建设用地年均增长34.13 km²,远高于前期(1998—2008年)的年均13.48 km²,2018年建设用地面积达到550.83 km²,占整个地区土地面

积的近14%,建设用地面积不断增加,主要是因为“两湖一库”地区位于省会城市及其周边地区,同时也是黔中城市群的核心地带,地理位置优越,近年来社会经济发展较快,如2013年地区GDP仅1 586.49亿元,2018年则达到了2 926.85亿元,有力地推动了区域城镇化的建设;林地面积呈前快后慢的增长

态势,其中1998—2013年林地面积增加较多,这与2002年起我国全面启动退耕还林工程有关,该时段大面积坡耕地和荒地转变为林地,而2013—2018年林地面积涨幅很小,年均增速仅0.02%,一是研究区的退耕还林及荒山地绿化造林基本完成,二是城镇化扩张、房地产用地增长很快,部分属于贵阳环城林带的林地受到蚕食;水域面积总体呈波动减少的趋势,其中1998—2008年水域面积大幅缩减,2008—2013年水域面积虽然仍有一定的缩减,但缩减幅度已经很小,2007年“两湖一库”管理局的成立对研究区内的水资源保护、水污染防治等工作起到了积极的促进作用,2013—2018年水域面积以年均1.35%的速度增加,到2018年恢复至66.80 km²;耕地面积持续减少并呈加快态势,尤其是2013—2018年年均减少1.98%,面积减少近180 km²,这与近年来研究区内城镇化建设进程加速,大量农业用地被占有有关;草地面积呈持续减少态势,其中2008—2013年缩减速度最快,年均减少率超过10%,喀斯特地区土壤贫瘠,早期荒草地面积较多,而随着政府对喀斯特石漠化地区治理工作的重视,研究区内的荒草地不断得到治理,草地面积相应减少;未利用土地逐年增加且有加快的趋势,研究期内年均增长速度超过14%,其中近5年年均增幅4.8 km²,近年来研究区内城镇化建设加快,土地资源得到大量开发利用,部分土地处在规划为建设用地而未完成建设的过程中,地表土壤、岩石裸露,成为暂时性的未利用土地,这在新开发区、城镇化扩张的边缘(前沿)区尤为常见。

总体上看,“两湖一库”地区综合土地利用动态度在1998—2008年相对较小,年际综合土地利用动态度为1.33%,各地类间的相互转换较为平缓,土地利用状态较为稳定;而2008—2018年年际综合土地利用动态度均超过2%,各地类间的转换相对活跃,近10年“两湖一库”地区社会经济活动明显增多,城镇化建设加快,特别是退耕还林工程和贵安新区建设等因素加快了各地类间的相互转换。

3.1.2 土地利用转换分析

(1) 土地利用“源—汇”转换面积

为分析各阶段土地利用面积转换情况,利用ENVI 5.2的变化监测工具制作1998—2008年、2008—2013年、2013—2018年3阶段土地利用转移矩阵(表2),并根据土地利用累计转换面积大小绘制“源—

汇”转换关系图(图3)。由图3可知,研究期内“两湖一库”地区主要的土地利用转移方式(累计转换面积>300 km²)包括耕地转为林地和建设用地、草地转为林地和耕地、林地转为耕地,其余各地类间的“源—汇”转换量相对较少。

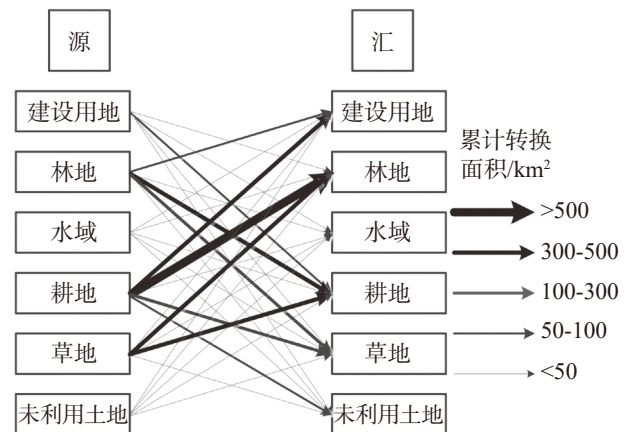


图3 1998-2018年“两湖一库”地区土地利用“源—汇”转换关系图

Fig. 3 "Source and sink" conversion relationships of land use in "Two Lakes and One Reservoir" area from 1998 to 2018

结合图3及表2可知,研究期内建设用地扩张的主要“源”是耕地,且转移量不断增加,由1998—2008年的105.40 km²增至2013—2018年的168.62 km²,说明“两湖一库”地区城市建设过程中占用耕地的现象较普遍;耕地主要转入林地和建设用地,林地和建设用地是耕地主要的“汇”,其中耕地向林地的转换最活跃,1998—2018年累计有529.64 km²的耕地转为林地,反映出“两湖一库”地区退耕还林政策得到了很好的落实,退耕还林工程成效显著;草地主要转入林地和耕地,林地和耕地是草地主要的“汇”,1998—2008年草地转出为林地和耕地的面积分别为158.09 km²和153.69 km²,2008—2013年也有超过200 km²的草地转出为林地和耕地,其中包括大量的荒草地经过治理后转变为林地和可耕作土地,同期因“两湖一库”地区城镇化快速发展,大量农村劳动力流失,农村地区农业用地撂荒现象较为普遍,也有较多的耕地转为草地,耕地与林地和草地的“源—汇”转换较为活跃。

(2) 土地利用“源—汇”转换波动度

根据式(4)计算1998—2018年“两湖一库”地区各地类“源—汇”转换波动情况,以面积变化较为活跃的建设用地为例,其“源”变异系数如表3所示。

表 2 1998—2018 年“两湖一库”地区土地利用转移矩阵/km²
Table 2 Transfer matrix of land use in "Two Lakes and One Reservoir" area from 1998 to 2018 /km²

2008年	1998年					
	建设用地	林地	水域	耕地	草地	未利用土地
建设用地	88.75	18.54	14.07	105.40	11.78	1.25
林地	0.84	1 138.62	2.64	164.97	158.09	0.27
水域	0.31	3.14	56.24	2.45	1.29	0.00
耕地	13.48	151.85	4.32	1 520.17	153.69	5.85
草地	0.36	121.81	0.36	95.34	91.43	0.16
未利用土地	1.37	3.00	0.07	11.54	0.85	1.96
2013年	2008年					
	建设用地	林地	水域	耕地	草地	未利用土地
建设用地	176.10	18.68	5.14	159.50	8.59	12.10
林地	10.51	1 222.10	0.66	166.50	116.27	0.24
水域	5.88	1.31	54.73	0.41	0.12	0.03
耕地	45.29	166.74	2.73	1 466.78	115.34	3.81
草地	0.79	52.76	0.20	33.52	67.17	0.10
未利用土地	0.86	3.04	0.22	18.25	1.30	2.44
2018年	2013年					
	建设用地	林地	水域	耕地	草地	未利用土地
建设用地	329.33	27.87	4.26	168.62	2.85	17.81
林地	9.24	1 274.02	0.63	198.17	35.52	0.33
水域	4.03	2.25	57.41	2.84	0.18	0.05
耕地	24.09	179.86	0.16	1 334.05	78.05	6.11
草地	5.18	27.23	0.04	62.57	36.16	1.04
未利用土地	8.23	5.06	0.02	34.40	1.72	6.84

由表 3 可知, 研究期内“两湖一库”地区各地类转出为建设用地的数量和波动程度存在较大差异, 耕地在各时间段均为建设用地扩张最主要的“源”, 贡献率始终维持在 70% 左右, 但“源”变异系数较大 (41.46%), 表明耕地转出为建设用地的数量波动较大, 结合表 3 第 4 行, 研究时段内耕地年均转出量总体呈逐年增加趋势, 由 1998—2008 年的 10.54 km²·a⁻¹ 增至 2013—2018 年的 33.72 km²·a⁻¹, 2014 年国务院正式同意设立国家级新区-贵安新区, 区域城镇化建设加快, 加速了研究区内耕地向建设用地的转换; 水域转出为建设用地的“源”变异系数最小 (21.14%), 水域向建设用地的转换最稳定且年均转换面积仅 1 km² 左右, “两湖一库”地区作为贵阳市主要的饮用水源地, 其生态环境逐渐受到重视, 水源保护措施相继展开, 其中 2007 年“两湖一库”管理局的成立更是推动了“两湖一库”保护法律法规的制定, 因此在研究时段内水域的年均转出量很少且呈逐年减少趋势; 未利用土地转为建设用地的“源”变异系数最大

(70.21%), 结合表 3, 研究时段内“两湖一库”地区未利用土地向建设用地转换面积的波动程度最大且表现为年均转换面积不断增加, 由 1998—2008 年的 0.13 km²·a⁻¹ 增长至 2013—2018 年的 3.56 km²·a⁻¹, 增长较为显著, 近 10 年区域内城镇化建设背景下房地产开发、工业化建设等活动加速了对未利用土地的开发利用。

由于篇幅限制, 其他地类的“源”转换波动情况不再详细分析, 以矩阵形式列出各地类的“源”变异系数(表 4)。由表 4 可知, 林地的“源”变异系数中, 耕地转出为林地的变异系数最小 (32.75%), 耕地是林地增加最稳定的来源, 自国家 2002 年全面启动退耕还林工程后, “两湖一库”地区大量的坡耕地稳步地转为林地, 建设用地转出为林地的变异系数为 66.74%, 其转换面积较小且波动程度最大; 水域的“源”变异系数中, 林地转为水域的变异系数最小 (23.18%), 转换面积最稳定, 其余各地类转为水域的变异系数均在 70% 左右, 是水域不稳定的转入源; 耕

表3 1998—2018年“两湖一库”地区建设用地“源”变异系数

Table 3 Variation coefficient of "source" of construction land in "Two Lakes and One Reservoir" area from 1998 to 2018

地类转换	时段	年均转出量/km ²	各地类年均转为建设用地总量/km ²	贡献率/%	“源”变异系数/%
林地→建设用地	1998—2008	1.85	15.10	12.27	40.81
	2008—2013	3.74	40.80	9.16	
	2013—2018	5.57	44.28	12.59	
水域→建设用地	1998—2008	1.41	15.10	9.32	21.14
	2008—2013	1.03	40.80	2.52	
	2013—2018	0.85	44.28	1.92	
耕地→建设用地	1998—2008	10.54	15.10	69.78	41.46
	2008—2013	31.90	40.80	78.18	
	2013—2018	33.72	44.28	76.16	
草地→建设用地	1998—2008	1.18	15.10	7.80	40.59
	2008—2013	1.72	40.80	4.21	
	2013—2018	0.57	44.28	1.29	
未利用土地→建设用地	1998—2008	0.13	15.10	0.83	70.21
	2008—2013	2.42	40.80	5.93	
	2013—2018	3.56	44.28	8.04	

表4 1998—2018年“两湖一库”地区各地类“源”变异系数矩阵/%

Table 4 Coefficient of variation matrix of each type of "source" in "Two Lakes and One Reservoir" area from 1998 to 2018/%

“源”地类	“汇”地类					
	建设用地	林地	水域	耕地	草地	未利用土地
建设用地	0.00	66.74	71.10	62.13	108.64	107.91
林地	40.81	0.00	23.18	32.81	30.54	47.25
水域	21.14	36.60	0.00	65.47	50.84	99.22
耕地	41.46	32.75	67.70	0.00	24.75	60.19
草地	40.59	42.89	74.48	19.84	0.00	46.98
未利用土地	70.21	33.91	77.06	31.35	110.14	0.00

地的“源”变异系数中,草地转为耕地的变异系数最小(19.84%),主要是因为研究区内荒草地治理工作的开展,荒草地稳定地转为可耕作土地,水域转为耕地的变异系数最大(65.47%),“两湖一库”地区水源保护治理工作的开展使围湖造田等活动得到遏制,水域成为耕地最不稳定且迅速减少的转入源;草地的“源”变异系数差异较大,其中耕地转为草地的变异系数最小(24.75%),是草地最稳定的转入源,新世纪后,区域内城镇化建设加速,大量农村人口外流,农村空心化问题较为严峻,农村地区大量耕地撂荒,并稳步转为荒草地,而未利用土地(110.14%)和建设用地(108.64%)是草地最不稳定的转入源;未利用土地的“源”变异系数均较大,各地类向未利用土地转换的面积波动程度较大,其中建设用地(107.91%)和

水域(99.22%)转为未利用土地的面积最不稳定。

根据式(4)计算得出1998—2018年“两湖一库”地区各地类“汇”变异系数(表5)。从各地类年均转入某地类总量来看,各地类年均转入建设用地、水域和未利用土地的面积总体不断增加,反映出近20年来区域内城镇化建设加快、饮用水源地得到保护以及未利用土地呈加速开发的态势。从“汇”变异系数来看,未利用土地的“汇”变异系数最大(62.29%),结合表5第7行可知研究期内各地类转为未利用土地的面积波动较大且表现为年均转入量不断增加,由1998—2008年的 $1.68 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 增至2013—2018年的 $9.89 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,这使得研究区内未利用土地(主要为暂时性的未利用土地)面积不断增加;草地的“汇”变异系数最小(9.12%),年均转换总面积在各时段均稳定

表 5 1998—2018 年“两湖一库”地区各地类“汇”变异系数

Table 5 Coefficient of variation of each type of "sink" in "Two Lakes and One Reservoir" area from 1998 to 2018

地类转换	时段	各地类年均转入某地类总量/km ²	年均转入总量/km ²	贡献率/%	“汇”变异系数/%
各地类→建设用地	1998—2008	15.10	104.91	14.40	38.96
	2008—2013	40.80	190.18	21.45	
	2013—2018	44.28	181.68	24.37	
各地类→林地	1998—2008	32.68	104.91	31.15	23.03
	2008—2013	58.84	190.18	30.94	
	2013—2018	48.78	181.68	26.85	
各地类→水域	1998—2008	0.72	104.91	0.69	35.16
	2008—2013	1.55	190.18	0.82	
	2013—2018	1.87	181.68	1.03	
各地类→耕地	1998—2008	32.92	104.91	31.38	27.27
	2008—2013	66.78	190.18	35.12	
	2013—2018	57.65	181.68	31.73	
各地类→草地	1998—2008	21.80	104.91	20.78	9.12
	2008—2013	17.47	190.18	9.19	
	2013—2018	19.21	181.68	10.57	
各地类→未利用土地	1998—2008	1.68	104.91	1.60	62.29
	2008—2013	4.73	190.18	2.49	
	2013—2018	9.89	181.68	5.44	

在 20 km²·a⁻¹ 左右,波动度最小;建设用地、水域、耕地和林地的“汇”变异系数分别为 38.96%、35.16%、27.27% 和 23.03%,总体差异相对较小,在此不再赘述。

3.2 驱动力分析

为科学分析各因素对不同地类变化的影响,采用定量和定性分析相结合的方法分析“两湖一库”地区土地利用变化驱动力。其中建设用地受人类活动影响最明显且年际变化显著,运用 Pearson's 相关分析法^[22,27]定量分析各社会经济因素对建设用地变化的影响,其余地类主要通过定性方法进行分析。

3.2.1 社会经济因素

借助 SPSS 工具进行 Pearson's 相关分析以探究建设用地变化的主要驱动因素,从人口压力、社会经济发展^[21]及国家战略 3 方面选取人口密度、人口自然增长率、城镇化率、非农产业比重、人均固定资产投资、人均 GDP 和“贵安新区”是否成立等 7 个变量对“两湖一库”地区建设用地变化开展 Pearson's 相关分析,其中“贵安新区”是否成立为类别变量,成立前赋值为 0,成立后赋值为 1,相关分析结果如表 6。

结果表明:研究时段内建设用地变化与人均 GDP、人口密度、城镇化率和人均固定资产投资相关性最高, r 值均大于 0.9,且通过了显著性检验。人均 GDP 与建设用地变化相关性最高($r=0.978$),反映了地区经济发展水平对建设用地扩张有重要影响,“两湖一库”地区 GDP 由研究初期(1998 年)的 188.67 亿元增至 2018 年的 2 926.85 亿元,经济的快速发展伴随着房地产及工业企业等建设的推进,促进建设用地面积迅速扩张;人口密度表示人口压力对建设用地的影响,作为黔中城市群的核心地带,1998—2018

表 6 建设用地变化影响因素相关分析结果

Table 6 Correlation analysis of influencing factors of construction land change

变量	r	P
非农产业比重	0.865	0.135
城镇化率	0.944*	0.056
人均固定资产投资	0.943*	0.057
人口自然增长率	0.254	0.746
人口密度	0.963**	0.037
人均GDP	0.978**	0.022
贵安新区成立	0.809	0.191

注: *、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 水平下显著。

年“两湖一库”地区人口数量迅速增加,人口密度由1998年的 $393 \text{人}\cdot\text{km}^{-2}$ 提高至2018年的 $607 \text{人}\cdot\text{km}^{-2}$,人口的迅速增长需要开发更多的土地用于工业生产和建设住宅等,推动建设用地的扩张,城镇化率与建设用地的相关性也很高($r=0.944$),城镇化率即常住人口城镇化水平同样反映的是人口压力对建设用地扩张的推动作用;人均固定资产投资反映政府财政投资对建设用地变化的影响,1998—2018年“两湖一库”地区人均固定资产投资额由2 282.40元陡增至90 706.39元,固定资产投资包括对房地产、基础设施等方面的投资,投资额迅速增加必然会推动建设用地的扩张。此外,非农产业比重、人口自然增长率和贵安新区成立与建设用地的相关系数均为正值,表明对建设用地扩张均有正向作用,但没有通过显著性检验,其中人口自然增长率相关性最低($r=0.254$),主要是因为“两湖一库”地区是贵州省经济活动中心,吸引了周边大量的人口流入,促进地区经济发展和城镇化建设,而人口自然增长率并不能反映该地区实际的人口变化状况;贵安新区成立虽然有正向作用,但没有通过显著性检验,可能是因为“两湖一库”地区位于省会城市及周边地区,社会经济活跃,城市发展自身已具备良好的社会经济及区位优势,建设用地快速扩张,而贵安新区成立对区域城镇建设虽有一定促进作用,但并不显著。

3.2.2 政策因素

国家和地方政府实施的一系列政策措施对“两湖一库”地区土地利用变化也有重要影响。退耕还林工程是中国21世纪六大生态保护工程之一,于2002年全面启动,黔中“两湖一库”地区石漠化现象普遍,坡耕地较多,是退耕还林实施的重点区域,在退耕还林的政策驱动下,2018年“两湖一库”地区林地面积达 $1\,518.09 \text{km}^2$,较1998年增加 80km^2 ,森林覆盖率达到38.39%,植树造林成效显著,促进林地面积的增加;作为黔中城市群的核心区,近20年来“两湖一库”地区经济快速发展,资源环境压力日益增大,1998—2008年“两湖一库”地区水域面积年均减少1.82%,而作为重要的饮用水源生态保护区,“两湖一库”地区水生态与水环境保护也不断受到地方政府的重视,为保护地区供水安全,2007年“两湖一库”管理局成立,一系列的保护政策法规等相继实施,在政策影响下,2018年区域水域面积较2008年增加

3.21km^2 ,恢复至 66.80km^2 ,水域面积缩减现象得到有效遏制,“两湖一库”管理局的成立对区域供水/用水安全及水域面积变化产生了重要影响。

4 结论与讨论

本文基于“源—汇”理念及1998—2018年“两湖一库”地区土地利用数据,运用土地利用动态度等方法对“两湖一库”地区土地利用动态演变及驱动力进行分析,得出以下结论:

(1)1998—2018年“两湖一库”地区受城镇化和退耕还林等影响,建设用地、林地和未利用土地(主要为暂时性未利用土地)面积不断增加,水域面积波动减少,耕地、草地面积持续减少,其中建设用地和未利用土地在各时段均为变化最活跃的地类。年均综合土地利用动态度由1998—2008年1.33%的提高至2008—2013年的2.4%和2013—2018年的2.3%,近10年各地类间的相互转换较10年前更为活跃;

(2)研究期内“两湖一库”地区土地利用“源—汇”转换主要表现为耕地转为林地和建设用地、草地转为林地和耕地。其中建设用地增加主要的“源”是耕地,研究期内累计有 433.52km^2 的耕地转为建设用地;林地是耕地主要的“汇”,累计有 529.64km^2 的坡耕地退耕后转为林地;耕地和林地是草地主要的“汇”,大量的荒草地经过治理后转为耕地和林地;

(3)1998—2018年“两湖一库”地区各地类间相互转换的“源—汇”变异系数存在较大差异。未利用土地转为草地的“源”变异系数最大(110.14%),年均转换面积波动最大,草地转为耕地的“源”变异系数最小(19.84%),草地是耕地最稳定的转入源;

(4)作为贵阳市的饮用水源地,“两湖一库”地区水域面积近10年来虽有一定扩大但较1998年仍然有所缩减。同时,各地类加速向建设用地转换,建成区面积迅速扩张,地区常住人口由2013年的347.51万人增至2018年的375.26万人,“三座水缸”供水压力进一步加大;

(5)人口压力、经济发展水平及固定资产投资等因素是“两湖一库”地区建设用地扩张的主要驱动因素,而退耕还林及“两湖一库”管理局成立等政策因素则对区域林地和水域面积变化有重要影响。

“两湖一库”地区喀斯特地貌广泛发育,生态环境脆弱,区域土地利用与供水安全、生态安全息息相

关,需要积极采取措施,稳定“两湖一库”地区湖库蓄水面积,合理推进城镇化建设,优化土地利用结构,并控制农业面源污染等,继续发挥水资源对保障“两湖一库”地区社会经济发展与生态安全的重要作用。限于遥感影像分辨率较低及影像数据来源差异,本文解译结果可能存在一定误差;同时由于各土地利用类型之间的“源—汇”转换关系复杂,各区县各地类的空间转换定位对比分析等有待后续研究中进一步深化。

参考文献

- [1] 徐志涛,陈鹏飞,周世健,诸云强,石雅娇. 白洋淀流域土地覆被变化及其生态服务价值评价[J]. *生态科学*, 2018, 37(6): 83-90.
XU Zhitao, CHEN Pengfei, ZHOU Shijian, ZHU Yunqiang, SHI Yajiao. Study on land cover change and its impact on ecological services in Baiyangdian watershed[J]. *Ecological Science*, 2018, 37(6): 83-90.
- [2] 陈佑启,杨鹏. 国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展[J]. *经济地理*, 2001, 21(1): 95-100.
CHEN Youqi, YANG Peng. Recent progresses of international study on land use and land cover change(LUCC)[J]. *Economic Geography*, 2001, 21(1): 95-100.
- [3] 中华人民共和国自然资源部. 全国土地利用总体规划纲要(2006-2020)调整方案[Z]. 2016-6-22.
Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China Adjustment Plan for the Outline of the National General Land Use Plan (2006-2020) [Z]. 2016-6-22.
- [4] 杜云彬,陈求稳,王智源,王冬梅,刘俊杰,陈诚,杨延梅,樊兆航. 江苏省典型湖泊饮用水源地安全综合评价[J]. *水资源保护*, 2020, 36(5): 71-78, 92.
DU Yunbin, CHEN Qiwen, WANG Zhiyuan, WANG Dongmei, LIU Junjie, CHEN Cheng, YANG Yanmei, FAN Zhaohang. Safety evaluation of typical lake drinking water sources in Jiangsu Province[J]. *Water Resources Protection*, 2020, 36(5): 71-78, 92.
- [5] 龚世飞,丁武汉,肖能武,郭元平,叶青松,王巍,李虎. 丹江口水库核心水源区典型流域农业面源污染特征[J]. *农业环境科学学报*, 2019, 38(12): 2816-2825.
GONG Shifei, DING Wuhan, XIAO Nengwu, GUO Yuanping, YE Qingsong, WANG Wei, LI Hu. Characteristics of surface runoff and agricultural non-point source pollution in the core water source area of the Danjiangkou Reservoir[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2019, 38(12): 2816-2825.
- [6] 郭甜,黄锡生. 包容性发展视角下饮用水水源保护区的治理与完善[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(5): 167-176.
GUO Tian, HUANG Xisheng. Governance and improvement of drinking water source protection zones from the perspective of inclusive development[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(5): 167-176.
- [7] 赵阳,余新晓,贾剑波,刘旭辉. 红门川流域土地利用景观动态演变及驱动力分析[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(9): 239-248.
ZHAO Yang, YU Xinxiao, JIA Jianbo, LIU Xuhui. Analysis on dynamic evolution and driving force of land-use landscape in Hongmenchuan Basin[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2013, 29(9): 239-248.
- [8] 麦丽开·艾麦提,满苏尔·沙比提,张雪琪. 近35 a叶尔羌河下游流域土地利用/覆被时空动态演变特征[J]. *生态与农村环境学报*, 2019, 35(9): 1118-1126.
AMAT Malika, SHABIT Mansur, ZHANG Xueqi. Spatial-temporal dynamic evolution characteristics of land use /cover in the middle and lower reaches of Yarkant river basin in recent 35 years[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2019, 35(9): 1118-1126.
- [9] SILVA Leonardo Pereira e, XAVIER Ana Paula Campos, SILVA Richarde Marques da, SANTOS Celso Augusto Guimarães. Modeling land cover change based on an artificial neural network for a semiarid river basin in northeastern Brazil[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020: 21.
- [10] 杨兴艳,赵宇鸾,李秀彬. 黔桂岩溶山区土地利用变化的社会经济因素分析[J]. *中国岩溶*, 2019, 38(1): 88-99.
YANG Xingyan, ZHAO Yuluan, LI Xiubin. Analysis of land-use changes and socio-economic factors in karst mountainous areas of Guizhou and Guangxi[J]. *Carsologica Sinica*, 2019, 38(1): 88-99.
- [11] 李智礼,匡文慧,张澍. 近70 a天津主城区城市土地利用/覆盖变化遥感监测与时空分析[J]. *遥感技术与应用*, 2020, 35(03): 527-536.
LI Zhili, KUANG Wenhui, ZHANG Shu. Remote sensing monitoring and spatiotemporal pattern of land use/cover change in built-up area of Tianjin in the past 70 years[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2020, 35(03): 527-536.
- [12] 熊康宁,白利妮,彭贤伟,李阳兵. 不同尺度喀斯特地区土地利用变化研究[J]. *中国岩溶*, 2005, 24(1): 41-47.
XIONG Kangning, BAI Lini, PENG Xianwei, LI Yangbing. Research on changes of land-use in different scale in karst mountain[J]. *Carsologica Sinica*, 2005, 24(1): 41-47.
- [13] 徐倩,李阳兵,黄娟. 50余年来岩溶山地近郊村域土地利用与景观格局演变:以贵州省清镇市王家寨地区为例[J]. *中国岩溶*, 2018, 37(4): 545-554.
XU Qian, LI Yangbing, HUANG Juan. Evolution of land use and landscape pattern of the village area in karst mountain area over the past 50 years: A case study of Wangjiazhai area in Qingzhen City of Guizhou Province[J]. *Carsologica Sinica*, 2018, 37(4): 545-554.
- [14] 赵宇鸾,魏小芳,李秀彬. 岩溶区山-坝系统土地利用耦合演化研究的初步探讨[J]. *中国岩溶*, 2020, 39(1): 48-53.
ZHAO Yuluan, WEI Xiaofang, LI Xiubin. Study on the land use coupling evolution of mountain-basin systems in karst areas[J].

- Carsologica Sinica, 2020, 39(1): 48-53.
- [15] 田雨, 周宝同, 付伟, 王蓉. 2000-2015年山地城市土地利用景观格局动态演变研究: 以重庆市渝北区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(6): 1344-1353.
TIAN Yu, ZHOU Baotong, FU Wei, WANG Rong. Dynamic evolution of land use landscape patterns in mountainous cities from 2000 to 2015: A Case study of Yubei district in Chongqing[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(6): 1344-1353.
- [16] 陈磊, 孙佳新, 姜海, 唐华. 南京市土地利用结构时空格局及驱动因素[J]. 水土保持研究, 2020, 27(1): 197-206.
CHEN Lei, SUN Jiixin, JIANG Hai, TANG Hua. Spatiotemporal pattern and driving factors of land use structure in Nanjing City[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(1): 197-206.
- [17] 刘明皓, 王耀兴. 基于“源”“汇”理念的土地利用动态变化分析: 以重庆市主城区为例[J]. 地理与地理信息科学, 2013, 29(3): 86-91.
LIU Minghao, WANG Yaoxing. Analysis on land use dynamic change based on the concepts of source and sink: A case study of main urban areas of Chongqing[J]. Geography and Geo-Information Science, 2013, 29(3): 86-91.
- [18] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 巩杰. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法: 景观空间负荷对比指数[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2406-2413.
CHEN Lidong, FU Bojie, XU Jianying, GONG Jie. Location-weighted landscape contrast index: A scale independent approach for landscape pattern evaluation based on "Source-Sink" ecological processes[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(11): 2406-2413.
- [19] 廖慧, 舒章康, 金君良, 杨传国, 王国庆. 1980-2015年黄河流域土地利用变化特征与驱动力[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2021, 19(1): 129-139.
LIAO Hui, SHU Zhangkang, JIN Junliang, YANG Chuanguo, WANG Guoqing. Characteristics and driving forces of land use change in the Yellow River basin from 1980 to 2015[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2021, 19(1): 129-139.
- [20] 童威, 郎丰铠. 基于地理探测器的武汉市土地利用变化及其驱动机制探讨[J]. 水利水电技术, 2021, 52(4): 45-56.
TONG Wei, LANG Fengkai. Geodetector-based analysis on land-use variation and its driving force in Wuhan[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2021, 52(4): 45-56.
- [21] 张佰发, 苗长虹. 黄河流域土地利用时空格局演变及驱动力[J]. 资源科学, 2020, 42(3): 460-473.
Zhang Baifa, Miao Changhong. Spatiotemporal changes and driving forces of land use in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(3): 460-473.
- [22] 李孝永, 匡文慧. 京津冀1980-2015年城市土地利用变化时空轨迹及未来情景模拟[J]. 经济地理, 2019, 39(3): 187-194, 200.
LI Xiaoyong, KUANG Wenhui. Spatio-temporal trajectories of urban land use change during 1980-2015 and future scenario simulation in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. Economic Geography, 2019, 39(3): 187-194, 200.
- [23] 吕婷婷, 李林森, 朱世峰, 杨戈芝, 马海珍. 近30 a来白洋淀土地利用变化规律及驱动力分析[J]. 水利水电技术, 2020, 51(3): 37-44.
LYU Tingting, LI Linsen, ZHU Shifeng, YANG Gezhi, MA Haizhen. Analysis on land use variation law and its driving force of Baiyangdian Lake since recent 30 years[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2020, 51(3): 37-44.
- [24] 谢砗军, 苏维词, 赵卫权, 刘其武, 李艳丽, 杨吉. 喀斯特山区城市边缘区生态风险时空演变研究: 以贵州省贵阳“两湖一库”地区为例[J]. 人民长江, 2017, 48(21): 40-45.
XIE Zhujun, SU Weici, ZHAO Weiquan, LIU Qiwu, LI Yanli, YANG Ji. Study on spatial and temporal evolution of urban fringe ecological risk in karst area based on LUCC: Case of two lakes and one reservoir area in Guiyang, Guizhou Province[J]. Yangtze River, 2017, 48(21): 40-45.
- [25] 徐媛银, 郭砾, 薛达元, 孙思琦. 赣南地区土地利用格局及生态系统服务价值的时空演变[J]. 生态学报, 2019, 39(6): 1969-1978.
XU Nuanyin, GUO Luo, XUE Dayuan, SUN Siqu. Land use structure and the dynamic evolution of ecosystem service value in Gannan region, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(6): 1969-1978.
- [26] 赵卫权, 苏维词, 周文龙, 张凡. 近40年来贵阳市“两湖一库”地区土地利用/覆被变化[J]. 水土保持通报, 2014, 34(4): 123-127, 345.
ZHAO Weiquan, SU Weici, ZHOU Wenlong, ZHANG Fan. Land use/cover changes of "Two Lakes and One Reservoir" region in Guiyang City over last 40 years[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, 34(4): 123-127, 345.
- [27] TIAN Yichen, YIN Kai, LU Dengsheng, HUA Lizhong, ZHAO Qianjun, WEN Meiping. Examining land use and land cover spatiotemporal change and driving forces in Beijing from 1978 to 2010[J]. Remote Sensing, 2014, 6(11): 10593-10611.

Analysis of land use changes and their driving force in "Two Lakes and One Reservoir" area of central Guizhou Province based on the concepts of "Source and Sink"

LI Qingsong^{1,3}, SU Weici^{1,2}, LYU Sisi²

(1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China; 2. Institute of Mountain Resources of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550001, China; 3. Natural Resources and Planning Bureau of Pingshan County, Pingshan, Sichuan 645350, China)

Abstract "Two Lakes and One Reservoir", the main drinking water source of Guiyang City and even the urban agglomeration in central Guizhou, are typical karst plateau lakes. But the ecological environment around the lakes and reservoir is extremely fragile, where human activities are intense; urbanization is expanding rapidly; and land use changes are significant. Therefore, the land use changes have an important impact on the regional ecological security/water supply security and social and economic development. Based on the concepts of "source and sink" and the 4-phase interpretation data of remote sensing in "Two Lakes and One Reservoir" area in central Guizhou Province from 1998 to 2018, the dynamic model of land use was used to analyze the dynamic evolution law of land use in the study area in the past 20 years. Besides, quantitative analysis and qualitative analysis were combined to explore the driving force of land use changes.

Results show that, (1) From 1998 to 2018, forest land and arable land were always the most important types of land use in the "Two Lakes and One Reservoir" area, with their respective proportions exceeding 35% in each period. (2) During the study period, the areas of construction land, forest land and unused land (mainly temporary unused land) increased continuously; the fluctuation of water area decreased; and the areas of arable land and grassland decreased continuously, among which changes of construction land and unused land presented most actively in each period. (3) The annual average dynamic degree of comprehensive land use in the study area increased respectively from 1.33% in 1998-2008 to 2.4% in 2008-2013 and 2.3% in 2013-2018. In the past 10 years, under the background of accelerated regional industrialization, urbanization and agricultural and rural modernization, the mutual conversion between various categories of land use has been more frequent than 10 years ago. (4) From 1998 to 2018, the main "source and sink" conversion relationships of land use in the study area were shown as the conversion of arable land into forest land and construction land, and grassland into forest land and arable land. Arable land was the main "source" of construction land increase; forest land was the main "sink" of arable land; and arable land and forest land were the main "sink" of grassland. (5) The "source and sink" coefficients of variation of mutual conversion among different categories are quite different, among which the "source" coefficient of variation of unused land converted to grassland is the largest (110.14%), and the annual average conversion is the most unstable. The "source" coefficient of variation of grassland converted to arable land is the smallest (19.84%), and grassland is the most stable source of farmland. (6) The conversion from various types of land into construction land has been accelerated; the area of the built-up area has expanded rapidly; and the water supply pressure of "Two Lakes and One Reservoir" has further increased. Population pressure and economic development are the main driving factors for the expansion of construction land in the study area. Policy factors such as Returning Farmland to Forest Program and the establishment of the "Two Lakes and One Reservoir" Administration Bureau have an important impact on the change of forest land and water area. In the future, it is necessary for us to focus on and solve the contradiction between the rapid urban expansion and the protection of arable land and water sources in the "Two Lakes and One Reservoir" area. The research results can provide a reference for the land use planning and social-economic-ecological coordinated development in the "Two Lakes and One Reservoir" area.

Key words concepts of "source and sink", land use, driving force, "Two Lakes and One Reservoir" area, karst area

(编辑 张玲 杨杨)