

# 1973—2017 年贵阳市饮用水源地 植被覆盖度的演变特征

赵卫权<sup>1,2</sup>, 周忠发<sup>1,3</sup>, 李威<sup>2</sup>, 杨家芳<sup>2</sup>, 谢冬冬<sup>2</sup>

(1. 贵州师范大学 喀斯特研究院/地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550001;

2. 贵州省山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001; 3. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:** [目的] 探讨贵阳市“两湖一库”(红枫湖、百花湖、阿哈水库)1973—2017 年的植被覆盖度变化规律, 为量化探讨城市饮用水源地生态环境演变监测提供科学途径和理论依据。[方法] 采用 1973 年 MSS 影像、1993, 2001, 2008 年 TM 数据和 2017 年 OLI 数据 5 期遥感影像, 基于像元二分模型和植被覆盖度动态模型, 运用遥感和 GIS 技术进行分析。[结果] ① 研究区域植被覆盖度总体呈现“两头升高, 中间降低”的规律, 即低覆盖度和高覆盖度面积比例均呈上升趋势, 而中低覆盖度、中覆盖度和中高覆盖度均基本呈下降趋势; ② 2001—2017 年期间植被覆盖度年均变化率明显高于前 3 个时段即 1973—1993, 1993—2001, 2001—2008 年 3 个时段, 2017 年的中高覆盖度和高覆盖度面积比例之和大于 1973 年的两者之和, 且高植被覆盖度区域的面积比例一直处于稳定上升态势。[结论] 贵阳市“两湖一库”植被中覆盖度部分退化、部分改善, 但是整体主要以退化为主, 退化原因则是城镇建设用地的扩张; 社会经济活动和区域发展政策是地表植被覆盖度演变的主要驱动力, 尤其是对低植被覆盖度和中植被覆盖度区域的影响。

**关键词:** 饮用水源地; 植被覆盖度; NDVI; 贵阳市

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2020)01-0290-07

**中图分类号:** Q948.12, TP79

**文献参数:** 赵卫权, 周忠发, 李威, 等. 1973—2017 年贵阳市饮用水源地植被覆盖度的演变特征[J]. 水土保持通报, 2020, 40(1): 290-296. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.01.042; Zhao Wei-quan, Zhou Zhong-fa, Li Wei, et al. Evolution characteristics of vegetation coverage of main drinking water sources in Guiyang City during 1973—2017[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(1): 290-296.

## Evolution Characteristics of Vegetation Coverage of Main Drinking Water Sources in Guiyang City During 1973—2017

Zhao Wei-quan<sup>1,2</sup>, Zhou Zhong-fa<sup>1,3</sup>, Li Wei<sup>2</sup>, Yang Jia-fang<sup>2</sup>, Xie Dong-dong<sup>2</sup>

(1. Department of Karst Research Institute/ Geography and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China; 2. Institute of Mountain Resources of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550001, China; 3. State Engineering Technology Institute for Karst Desertification Control, Guiyang, Guizhou 550001, China)

**Abstract:** [Objective] The changing pattern of vegetation coverage in “two lakes and one reservoir” (Hongfeng lake, Baihua lake, Aha reservoir) from 1973 to 2017 in Guiyang City was discussed in order to provide a scientific approach and theoretical basis for quantitatively exploring the monitoring of the ecological environment evolution of urban drinking water sources. [Methods] Five remote sensing images, including multi-spectral scanner (MSS) image in 1973, thematic mapper (TM) data in 1993, 2001, 2008 and operational land imager (OLI) data in 2017, and GIS technology were used to study the change of surface vegetation coverage, based on a dimidiated model and vegetation coverage dynamic model. [Results] ① The overall vegetation coverage grades of the study area showed a concave type curve, indicating that the proportion of area with low and high coverage increased, while the

收稿日期: 2019-07-24

修回日期: 2019-10-12

资助项目: 国家“十三五”重点研发计划课题“喀斯特高原石漠化综合治理与山地旅游产业技术与示范”(2016YFC0502606); 贵州省基础研究计划(黔科合基础[2018]1418); 贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2017]5726-57); 贵州省科技支撑计划(黔科合支撑[2018]2806); 贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2016]5674)

第一作者: 赵卫权(1982—), 男(汉族), 甘肃省宁县人, 副研究员, 博士研究生, 主要从事资源环境与 3S 技术应用研究。Email: zww82@163.com。

通讯作者: 周忠发(1969—), 男(汉族), 贵州省遵义市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事喀斯特生态环境, GIS 与遥感研究。Email: fa6897@163.com。

medium-low coverage, moderate coverage, and medium-high coverage decreased. ② During the period from 2008 to 2017, the annual rate of vegetation coverage change was significantly higher than the previous three periods, namely 1973 to 1993, 1993 to 2001, and 2001 to 2008. The sum of the proportions of medium-high coverage and high coverage areas in 2017 was greater than the sum of the two in 1973. The area proportion of high-vegetation coverage had been steadily rising. [Conclusion] The vegetation coverage in the study area is degraded and improved over time, however the overall coverage is mainly degraded, due to the expansion of urban construction land. Socio-economic activities and regional development policies are the driving forces for the evolution of surface vegetation coverage, especially for areas with low and moderate vegetation coverage.

**Keywords:** drinking water source; vegetation coverage; normalized difference vegetation index(NDVI); Guiyang City

全球气候变化与陆地生态系统响应(GCTE)是国际地圈生物圈计划(IGBP)的核心研究内容<sup>[1-2]</sup>,得到了国际社会的广泛关注。植被覆盖度指标指示了植被的茂密程度和植物进行光合作用范围大小,是反映地球表面植被群落等长势、健康情况的有效指标,也是许多水土侵蚀模型的重要指标,对于揭示一定区域内的生态环境质量变化有着极其重要的作用<sup>[3-5]</sup>。贵阳市“两湖一库”地区是贵阳市重要的饮用水源地,其生态环境变化直接影响湖库水质和水量。因此,在全球气候变化的大背景下,研究饮用水源地地表植被覆盖度演变规律及驱动力,监测植被覆盖度变化方向,对保证贵阳市民饮水安全及评价周边生态环境健康具有重要的理论和实际意义<sup>[6]</sup>。

早期的植被覆盖计算方法,主要依据野外实际调查和估算,如地表实测法、目估法、采样法等等,该方法量化指标有限,并且准确度低、时间人力等成本高、实效性差<sup>[6]</sup>。随着遥感技术的迅速发展,不同类型卫星以不同分辨率和周期对地表进行观测,为实现快捷、多尺度植被覆盖度估算提供了坚实的数据基础,通过遥感监测和模型方法的运算,不仅可以对植被覆盖度进行大面积、较准确的估算,并且解决了植被覆盖度的时效性问题,为多尺度、多分辨率、多方法的生态环境变化分析创造有利条件。1989年,万恩璞等<sup>[7]</sup>利用遥感信息对长白山地区的植被覆盖趋势进行了分析,这是早期利用遥感技术进行植被覆盖估算的案例;1996年,刘树华等<sup>[8]</sup>就半干旱地区植被覆盖度对气候热带影像进行了数值模拟;1998年,孙红雨等<sup>[9]</sup>利用NOVV/AVHRR数据提取NDVI指数,并与DEM数据相结合对区域的植被分类和景观格局进行了研究;唐志光等<sup>[10]</sup>利用重归一化植被指数,基于32 m分辨率的北京一号卫星(BJ-1)多光谱遥感影像数据和90 m分辨率的DEM数据,结合土地利用数据、土壤分布数据等辅助数据,对三江源自然保护区植被覆盖度进行了估算和精度验证;甘春英等<sup>[11]</sup>学者基于TM影像数据估算连江流域植被覆盖度,

通过叠加地质图信息深入分析了1998年和2006年连江流域植被演变及分布特征;穆少杰等<sup>[2]</sup>基于MODIS-NDVI遥感数据估算内蒙古地区2001—2008年植被覆盖度,并结合降雨和气温等气候因子,探讨植被覆盖度与区域气候变化的关系;吴端耀等<sup>[12]</sup>对贵州林草覆盖度与降水之间关系进行了研究;雷声剑等<sup>[13]</sup>,孙传亮等<sup>[14]</sup>,蒋翼等<sup>[15]</sup>,管文轲等<sup>[16]</sup>对区域时间序列的植被覆盖度变化及驱动力进行不同程度的研究。

通过上述文献统计可知,根据研究尺度需求的差异,植被覆盖度估算方法主要由常规估算过渡到遥感估算,遥感估算方法大致可以分为3类,回归模型、混合像元分解模型和其他模型,其中回归模型不涉及复杂的遥感机理分析和模型分析,相对简单且对局部的估算精度较高,但是该方法的局限性在于只适用于特定的区域和植被类型,推广性较差;混合像元分解模型可以根据像元内不同地物类型进行遥感信息分解,具有较高的精度且适于推广,混合像元分解模型中,当属像元二分模型应用较为成熟。

目前对植被覆盖度变化的研究主要侧重于区域本身植被覆盖研究,但对喀斯特高原城镇饮用水源地周边植被覆盖度研究则极少,由于喀斯特地区的植被具有石生性、嗜钙性等特点,喀斯特地区植被群落格局、景观动态及覆盖变化规律均有其独特性,因此本文以“两湖一库”地区为案例,开展1973—2017年植被覆盖度演变特征、方向、驱动机制等研究,揭示研究区植被覆盖度状况,以期对“两湖一库”地区生态建设与保护、用地规划与布局等提供科学依据。

## 1 研究区概况

贵阳市红枫湖、百花湖和阿哈水库位于 $106^{\circ}15'48''$ — $106^{\circ}46'57''E$ , $26^{\circ}15'42''$ — $26^{\circ}45'38''N$ 之间,是贵阳市主城区的重要饮用水水源,简称“两湖一库”,被称为贵阳市的“三口水缸”。为了数据资料的可获取性,研究以乡镇界线为基础,结合饮用水源保护区范围确定研

究区域,总面积为 1 703.82 km<sup>2</sup>。该区域地处贵阳市西南部,分属安顺市的平坝区、黔南州的长顺县广顺镇和贵阳市的清镇市、乌当区和白云区。

## 2 数据来源和方法

### 2.1 数据来源

研究数据主要为不同平台、不同时期的遥感影像数据,包括 1973 年 5 月份的 MSS 影像、1993 年和 2001 年 6 月份的 TM 影像、2008 年 4 月份的 TM 影像数据以及 2017 年 4 月份 Landsat 8 OLI 遥感数据;遥感影像数据分空间分辨率主要以 30 m 为主,且数据采集时间分布在 4—6 月这 3 个月,处于春夏交际的时期,相对集中,地表植被覆盖变化较小。遥感影像数据分别经过通过辐射定标、去云处理、大气校正、几何校正等预处理。利用 ENVI 软件进行格式转换和投影变换(Albers/WGS1984),采用 ArcGIS 10.4 软件进行数据计算和分析。

### 2.2 研究方法

2.2.1 像元二分模型估算植被覆盖度 植被指数是根据植被光谱信息,对波段进行组合形成的一种反映地表植被状况的数学指标,利用植被指数可以有效评估植被的覆盖程度、生长状况和生物量等<sup>[17-23]</sup>。在植被指数中,归一化差分植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)能够部分消除太阳高度角、卫星观测角、地形、云影等与大气有关的辐射变化的影响,是反映植被长势及植被覆盖度的重要因子。植被覆盖度(fractional vegetation coverage, FVC)指植被的垂直投影面积与地面统计面积的比例,是描述植物群落覆盖地表状况的一个综合量化指标<sup>[24-27]</sup>。植被覆盖度和 NDVI 之间存在极显著的线性相关性,通常通过建立二者之间的转换关系模型,估算植被覆盖度。本研究采用较为常用的归一化植被指数像元二分法估算植被覆盖度。

假设每个遥感数据像元的 NDVI 值均可以由植被和土壤两部分组成,则其公式如下<sup>[28]</sup>:

$$NDVI = NDVI_v C_i + NDVI_s (1 - C_i) \quad (1)$$

式中:NDVI<sub>v</sub> 为全部被植被所覆盖区域的 NDVI 值;NDVI<sub>s</sub> 为全裸土或无植被覆盖的 NDVI 值;C<sub>i</sub> 为植被覆盖度。根据公式(1),C<sub>i</sub> 的公式如下:

$$C_i = (NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s) \quad (2)$$

对于大多数裸地表面,NDVI<sub>s</sub> 理论值为 0,并且不易变化;但是受土壤、气候等其它因素影响,NDVI<sub>s</sub> 会随着空间改变而变化。与此同时,NDVI<sub>v</sub> 值也会随着植被类型及其时空演变而变化。本研究主要针对植被覆盖变化特征及趋势进行研究,结合研究区域

的实际情况,采用最大值和最小值代替两种极端植被指数。故本文选取研究区内 NDVI<sub>max</sub> 和 NDVI<sub>min</sub> 代表 NDVI<sub>v</sub> 和 NDVI<sub>s</sub>,计算公式表示为:

$$C_i = (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \quad (3)$$

2.2.2 植被覆盖度分级 依据 NDVI 计算出来的植被覆盖度像元值范围在[0,1]之间,为了量化分等定级地描述各种状态下植被覆盖数量分布和变化趋势,需要将植被覆盖度进行分级<sup>[6]</sup>。分级标准参照杨胜天等<sup>[28]</sup>、苏伟等<sup>[29]</sup>和张丽等<sup>[30]</sup>对区域植被覆盖度的分级方法,结合“两湖一库”地区实际情况,将贵阳市郊“两湖一库”地区的植被覆盖度划分为 5 个等级(见表 1)。

表 1 贵阳市“两湖一库”地区植被覆盖度等级划分

类别	等级赋值	植被覆盖度
低覆盖度	1	0~0.25
中低覆盖度	2	0.25~0.40
中覆盖度	3	0.40~0.60
中高覆盖度	4	0.60~0.75
高覆盖度	5	0.75~1.00

2.2.3 植被覆盖度动态模型 为量化表征植被覆盖度变化方向与程度,利用植被覆盖度的分级结果构建植被覆盖度动态变化模型  $D^{[31-32]}$ ,  $D = F_j - F_i$ , 其中, $D$  值为植被覆盖度变化方向和程度值, $D = 0$  时表示植被变化较稳定, $D > 0$  表示植被得到改善,值越大表示改善程度越明显,反之当  $D < 0$  时表示植被状况在退化; $F_j$  为第  $j$  年植被覆盖度等级赋值, $j$  取值为 1993,1999,2008,2017; $F_i$  为第  $i$  年植被覆盖度赋值, $i$  取值为 1973,1993,1999,2008, $D$  取值范围为  $-4 \sim 4$ (见表 2)。

表 2 1973—2017 年贵阳市植被覆盖度变化

值( $D$ )	变化	类型
$\leq -2$	明显	退化
-1	一般	退化
0	稳定	无变化
1	一般	改善
$\geq 2$	明显	改善

## 3 结果与分析

### 3.1 植被覆盖度时空变化特征

根据表 3 和附图 14(见封 3)可知,1973 年“两湖一库”地区的低植被覆盖度区域比例较小,占整个研究区域的 4.25%,中覆盖度区域比例最大(38.05%),中高覆盖度和高覆盖度共占 41.27%,植被覆盖度等级较高的区域,主要集中在红枫湖下游和百花湖西边和北边地区,以扎佐林场为中心,周边森林覆盖率较高。

表 3 1973—2017 年贵阳市“两湖一库”

地区植被覆盖度比例 %

年份	低覆盖度	中低覆盖度	中覆盖度	中高覆盖度	高覆盖度
1973	4.25	16.43	38.05	31.39	9.88
1993	6.99	26.99	34.94	22.47	8.61
2001	10.73	24.21	29.39	23.62	12.05
2008	13.55	16.99	24.15	18.63	26.68
2017	16.52	8.2	14.76	16.88	43.64

由表 3 和附图 15(见封 3)可知,1993 年研究区域低覆盖度和中低覆盖度面积比例分别增加了 2.74% 和 10.56%,中覆盖度、中高覆盖度和高覆盖度面积比例分别减少了 3.11%,8.92% 和 1.27%。除了地表作物种植和生长的影响,受改革开放政策的影响可能性较大,贵阳市处于从开始发展到大力发展时期,地表植被覆盖度总体处于退化状态。

由表 3 和附图 16(见封 3)可知,2001 年研究区域的低覆盖度区域的面积比例有所增加,中低覆盖度和中覆盖度分别减少了 2.78% 和 5.55%,中高覆盖度和高覆盖度面积比例增加,覆盖度改善区域主要发生在库区周边和城市周边。

由表 3 和附图 17(见封 3)可知,2008 年“两湖一库”地区植被低覆盖度面积比增加 2.82%,中低覆盖度面积比例减少 7.22%,中覆盖度和中高覆盖度面积比例分别减少 5.24% 和 4.99%,高覆盖度面积比例增加 14.63%,覆盖度变化明显区域,主要分布在“两湖一库”周边和城市化发展区域,主要退化区域发生在水域周边和城市周边,原因是由于城市化进行加快,土地利用总体规划的管控力不强,人们主要关注度投入到经济发展,而对于生态保护的力度不够。

由表 3 和附图 18(见封 3)可知,2008 年至 2017 年期间,中低覆盖度、中覆盖度和中高覆盖度面积比例分别减少 8.79%,9.39% 和 1.75%,其中中低覆盖度和中覆盖度比例减少较多,低覆盖度和高覆盖度面积比例分别增加 2.97% 和 16.96%,总体上看,2008 年至 2017 年期间,高植被覆盖度比例增幅较大,说明“两湖一库”地区的植被保护状况良好,但是从附图 18(见封 3)中可以看出,近 10 a 来“两湖一库”地区城镇建设加速,例如“两湖一库”中部区域的清镇市周边建设、南部区域的贵安新区建设、东南区域的小河至石板镇一带、贵阳老城区及周边建设等,建设用地的扩展式、蛙跳式蔓延吞没了部分中低覆盖度和中覆盖度区域。

由图 1 可知,“两湖一库”地区地表低覆盖度呈现持续上升态势,中低覆盖度表现出“升—降—降”变化规律,中覆盖度则呈现持续下降趋势,中高覆盖度呈现“降—升—升”发展态势,高覆盖度亦呈现“降—升—升”变化格局。根据表 3 可知:1973 年地表植被

覆盖度主要以中覆盖度和高覆盖度为主,整体覆盖度水平较高;1993 年,研究区域的植被覆盖度整体水平较 1973 年有所下降,除了降雨、气温、自然灾害等因素影响外,主要是由于贵阳市城市扩张和土地开发活动的开展;2001 年研究区域的植被覆盖度有所改善,主要表现为低覆盖度和高覆盖度都有所增长,低覆盖度面积比例增加主要由于城市建设加速,高覆盖度面积比例增加则主要由于“退耕还林”政策的影响和人们开始重视生态环境的意识增加;2008 年和 2001 年变化趋势类似,但是 2008 年的变化幅度大于 2001 年,主要原因是贵安新区建设和生态环境建设力度加大,大面积的中低覆盖度区域变为建设用地,同时,部分中低覆盖度区域经过改善成为高覆盖度地区。

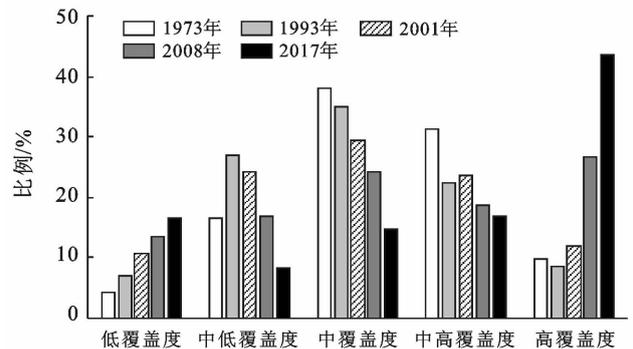


图 1 1973—2017 年贵阳市“两湖一库”地区植被盖度变化

### 3.2 植被覆盖度演化规律

如表 4 所示,在 1973—1993 年这 20 a 间,约 54% 区域出现植被覆盖明显退化现象;有 41% 的植被覆盖发生一般性退化或退化不明显;有 42% 的区域植被覆盖等级未发生明显变化,地表植被覆盖相对稳定;有 15.82% 的地区植被覆盖有所改善提高;只有 3.22% 的地区植被覆盖情况改善明显。在 1993—2001 年间,只有 3.89% 的地区植被覆盖发生了明显退化;有 21.24% 的区域植被覆盖发生一般性退化;有 47.27% 的区域地表植被相对稳定,植被覆盖度未发生明显变化;有 22.77% 的区域植被有所改善;4.84% 的区域植被覆盖度升高,地表植被覆盖情况改善明显。在 2001—2008 年间,有 10.38% 区域的植被覆盖发生明显退化;有 17.91% 的区域植被覆盖发生一般性退化;有 34.33% 的区域地表植被相对稳定;24.18% 的区域植被有所改善;13.20% 的区域植被覆盖度升高,地表植被覆盖情况改善明显。在 2008—2017 年间,有 8.77% 区域的植被覆盖度发生明显退化,9.49% 区域为一般性退化,39.37% 区域地表覆盖度较稳定,23.63% 区域植被覆盖度升高,18.74% 区域的植被覆盖情况得到明显改善。

表 4 1973—2017 年贵阳市“两湖一库”地区植被覆盖度变化 %

时间段/年	变化值 <i>D</i>				
	≤-2	-1	0	1	≥2
1973—1993	9.54	29.41	42	15.82	3.23
1993—2001	3.89	21.24	47.27	22.77	4.83
2001—2008	10.38	17.91	34.33	24.18	13.20
2008—2017	8.77	9.49	39.37	23.63	18.74

如表 5 所示,“两湖一库”地区地表植被覆盖度年际变化差异较大。1973—1993 年间,地表植被覆盖变化较大,平均每年有 0.48% 植被覆盖发生明显退化,但是年均只有 0.16% 地区植被覆盖情况发生明显改善;1993—2001 年间,年均地表植被覆盖度退化率为 0.49%,而年均地表植被覆盖度改善率明显提高,变化率比前一时段增加接近 4 倍;2001—2008 年,年均地表植被覆盖度退化率明显高于前一时段,主要由于城市化的快速推进,同时地表植被覆盖度改善率也明显提升,这主要源于重视城市环城林带的建设和“退耕还林”政策的实施;2008—2017 年间,退化区域与改善区域都比较明显,退化区域比例为 0.97%,改善区域为 2.88%,为前一时期改善比例的 2 倍之多。总之,1993 年后研究区域的总体地表植被覆盖度有所改善,低覆盖度区域与高覆盖度区域比例同步增长,表明“两湖一库”地区的植被保护力度加大,但因城市发展的需要,城镇建设用地快速增长,环境压力与生态保护矛盾还在持续中(表 5)。

表 5 1973—2017 年贵阳市“两湖一库”地区植被覆盖度年均变化 %

时间段/年	变化值 <i>D</i>				
	≤-2	-1	0	1	≥2
1973—1993	0.48	1.47	2.10	0.79	0.16
1993—2001	0.49	2.66	5.91	2.85	0.60
2001—2008	0.69	1.19	2.29	1.61	0.88
2008—2017	0.97	1.05	4.37	2.63	2.08

### 3.3 植被覆盖度演变驱动力

近 40 a 来,“两湖一库”地区地表植被覆盖度变化较大,且不同时期的变化速度和方向不尽相同。究其原因,主要是由于以下不同的驱动力因子影响所致:

(1) 1973 年国民经济发展缓慢,经济增长方式较为单一,人们对土地资源的扰动较小,中覆盖度和中高覆盖度占绝对优势,但由于喀斯特环境脆弱性和水土较缺且匹配较差的客观条件,导致“两湖一库”喀斯特地区高覆盖度区域面积比例也较少;

(2) 随着改革开放的深入推进和西部大开发战略的实施,人们对地表形态和景观的改变力度加大,从而引起地表植被覆盖情况发生显著而复杂的变化;

(3) 经济活动对地表植被覆盖的影响集中在中、低覆盖度面积比例持续建设,主要是由于城镇发展和基础设施建设所致,而中高覆盖度及高覆盖度面积比例增加,则是因为进入 2000 年以来,“退耕还林”政策的实施,使得林带面积不断增加;

(4) 大气环境变化,水土流失严重,城镇建设用地快速扩张等均可造成地表植被覆盖出现退化;

(5) 植被覆盖度比较稳定的区域主要是质量比较好的耕地和林地,因为这些区域属于国家政策保护下的地区,而植被覆盖度退化明显的区域主要是质量较差的耕地、草地和灌木林地,这些土地基本上用于城镇建设,少部分由于生态环境脆弱而变成荒草地;

(6) 城市环城林带建设,政府对于饮用水源地生态环境保力度加大,使得城市周边部分区域的森林面积增加,城市饮用水源地植被覆盖度逐步改善。

## 4 结论与讨论

### 4.1 主要结论

本文主要基于 1973,1993,2001,2008 和 2017 年 5 期的遥感影像资料,运用像元二分模型和植被覆盖度动态模型等,分析了过去 40 a 间贵阳市“两湖一库”地区植被覆盖度的演化趋势和影响因素,主要结论如下:

(1) 低覆盖度面积比例从 1973 年的 4.25% 增加到 2017 年的 16.52%,其原因主要是由于建设用地面积不断增大和水土流失严重造成的,而高覆盖度面积比例从 1973 年的 9.89% 增加到 2017 年的 43.64%,主要是“退耕还林”政策实施后林地面积增加,以及贵阳市城市环城林带的建设影响;

(2) 由于中植被覆盖主要表达土地利用类型中的耕地,其次为中覆盖草地、低覆盖草地和少数城市园地斑块,因此中覆盖度面积比例从 1973 年的 38.05% 减少到 2017 年的 14.76%,一定程度上反映出研究区内耕地面积和中覆盖草地减少的态势;

(3) 1973—2017 年贵阳市“两湖一库”地区植被覆盖整体具有退化的趋势,主要表现在低覆盖度面积比例增长明显,但是地表植被覆盖越来越集中,人为改善地表植被覆盖的力度加大;

(4) 经济建设带动的城镇发展和交通建设是研究区地表植被覆盖度发生演变的主要驱动力;

(5) 2008—2017 年期间植被覆盖度年均变化率明显高于 1973—1993,1993—2001,2001—2008 年这 3 个时段,表明最近 10 a 贵阳市“两湖一库”地区植被覆盖度变化较为明显,主要受城镇建设和生态环境建设双重影响。

## 4.2 讨论

通过贵阳市水资源公报,统计查询 2002—2018 年“两湖一库”区域的各湖库水质等级(见表 6),从一个较宏观的角度对比植被覆盖度的变化与水质等级变化的相互关系,发现随着时间的推移,公布的水质等级自身并没有明显增减或者其他规律,2008 年水质等级较低的原因,是总氮和总磷的含量超过正常指标,2011—2015 年阿哈湖水质评估的等级为Ⅲ类,主要影响指标为 5 d 生化需氧量。植被覆盖度从侧面反映了水源地周边土地利用/覆被变化,土地利用/覆被变化对水质的影响主要是通过非点源污染途径,因此水质等级的变化过程,不仅与周边植被覆盖的变化有关,还与周边土地利用变化、耕地施肥情况、其他污染物排放等众多因素有复杂的联系。

表 6 2002—2018 年贵阳市“两湖一库”地区水质等级

年份	红枫湖	百花湖	阿哈水库
2002	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅱ类
2003	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅲ类
2004	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅲ类
2005	Ⅲ类	Ⅲ类	Ⅱ类
2006	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅲ类
2007	Ⅲ类	Ⅱ类	Ⅱ类
2008	Ⅳ类	Ⅳ类	Ⅲ类
2009	Ⅲ类	Ⅲ类	Ⅲ类
2010	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅲ类
2011	Ⅲ类	Ⅲ类	Ⅲ类
2012	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅲ类
2013	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅲ类
2014	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅲ类
2015	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅱ类
2016	Ⅲ类	Ⅲ类	Ⅲ类
2017	Ⅲ类	Ⅲ类	Ⅲ类
2018	Ⅱ类	Ⅱ类	Ⅲ类

基于遥感和 GIS 技术对“两湖一库”地区植被覆盖度演变进行研究,能够客观反映植被覆盖的实际情况,也可以直接反映研究区域生态环境演变规律,但是不同遥感尺度计算的植被覆盖度,所反映出来的演变规律具有一定的差异性,因此多源遥感数据融合在后面的研究当中值得深入探讨;其次在收集历史实测数据的基础之上,可以进一步研究植被覆盖与气候因子、地形因子、土地利用变化、水量水质等因素的相互影响,多因素多视角的深入剖析,有利于掌握饮用水源区域环境变化规律,为保护水安全提出更加针对性的建议。

针对“两湖一库”地区建设用地逐渐增加、水土流失和耕地面积进一步减少等问题,首先应从法律责任

上进行约束和管理,立法、普法工作积极跟进,强化公众参与和监督,使得破坏水源地水安全的违法成本更高;其次要提高饮用水源地周边的生态补偿标准,使得周边居民从保护水源地的行动中得到切实利益,解决耕地减少带来的生存生活压力与保护环境的矛盾,更加愿意加入到湖库水源的保护行动之中;最后,积极保护流域植被,利用有效的生态修复工程措施,从源头上解决生态系统自我修复和净化能力,从而保护饮用水源地的水质安全。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] Walker B, Steffen W. The Terrestrial Biosphere and Global Change: Implications for Natural and Managed Ecosystems[M]. Stockholm: IGBP, 1997:1-24.
- [2] 穆少杰,李建龙,陈奕兆,等. 2001—2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. 地理学报, 2012, 67(9): 1255-1268.
- [3] Parmesan C, Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems[J]. Nature, 2003, 421(6918): 37-42.
- [4] 罗光俊,何天容,安艳玲. 贵阳市“两湖一库”不同季节硫酸盐还原菌分布变化[J]. 湖泊科学, 2014, 26(1): 101-106.
- [5] 李同艳,何云玲,熊巧利. 云南中部地区植被覆盖时空变化特征及其影响因素研究[J]. 生态科学, 2019, 38(3): 45-54.
- [6] 赵卫权,周文龙,张凡. 施秉云台山地区近 40 年来植被覆盖度动态变化研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(2): 241-245.
- [7] 万恩璞,吕宪国,王野乔,等. 应用遥感信息对长白山植被覆盖的研究[J]. 地理科学, 1989, 9(4): 354-361, 98.
- [8] 刘树华,黄子琛,刘立超. 半干旱区植被覆盖度对边界层气候热力影响的数值模拟[J]. 气象学报, 1996, 54(3): 303-311.
- [9] 孙红雨,李兵. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系[J]. 遥感学报, 1998, 2(3): 204-210.
- [10] 唐志光,马金辉,李成六,等. 三江源自然保护区植被覆盖度遥感估算[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2010, 46(2): 11-16.
- [11] 甘春英,王兮之,李保生,等. 连江流域近 18 年来植被覆盖度变化分析[J]. 地理科学, 2011, 31(8): 1019-1024.
- [12] 吴端耀,罗娅,王青,等. 2001—2014 年贵州省林草植被覆盖度时空变化及其与气温降水变化的关系[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2017, 35(1): 1-7, 29.
- [13] 雷声剑,张福平,燕玉超,等. 黑河上游植被覆盖时空变化特征及其未来趋势[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 159-164, 370.
- [14] 孙传亮,兰安军,向刚. 基于 RS 与 GIS 的麻阳河黑叶

- 猴自然保护区植被覆盖动态变化监测研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2013, 31(1): 17-21.
- [15] 蒋翼, 周忠发, 黄登红. 黔中水利枢纽区植被覆盖度时空变化及驱动力分析: 以平坝为例[J]. 水土保持研究, 2018, 25(6): 221-227.
- [16] 管文轲, 韦红, 钟家骅, 等. 塔里木河流域植被覆盖变化的遥感监测[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 244-248, 260.
- [17] 龙晓闽, 周忠发, 张会, 等. 基于 NDVI 像元二分模型植被覆盖度反演喀斯特石漠化研究: 以贵州毕节鸭池示范区为例[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(8): 4184-4186.
- [18] 陈清惠. 喀斯特生态环境脆弱性特征及其生态防治: 以贵州省为例[J]. 山地农业生物学报, 2007, 26(3): 244-247, 260.
- [19] 张鑫馨. 鄂尔多斯能源基地地下水开发的植被生态效应研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2010.
- [20] 贾媛, 陈贵峰, 吴立新. 鄂尔多斯盆地植被覆盖动态监测与评价[J]. 环境科学与管理, 2013, 38(1): 34-39, 72.
- [21] Hideyuki F, Toshio K, Keiji I. Improvement of the AMSR-E algorithm for soil moisture estimation by introducing a fractional vegetation coverage dataset derived from MODIS data [J]. Journal of the Remote Sensing Society of Japan, 2009, 29(1): 282-292.
- [22] 崔立新, 李政海, 张靖, 等. 克孜勒苏河流域植被覆盖空间格局及动态变化趋势分析[J]. 大连民族大学学报, 2019, 21(1): 39-43.
- [23] Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(8): 1533-1543.
- [24] 李登科, 范建忠, 王娟. 陕西省植被覆盖度变化特征及其成因[J]. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2896-2903.
- [25] Li Xiaobing, Chen Yunhao, Shi Peojun, et al. Detecting vegetation fractional coverage of typical steppe in Northern China based on multi-scale remotely sensed data [J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(10): 1146-1156.
- [26] Coban H O, Koc A, Eker M. Investigation on changes in complex vegetation coverage using multi-temporal Landsat data of Western Black sea region: A case study [J]. Journal of Environmental Biology, 2010, 31(1/2): 169-178.
- [27] 李惠敏, 刘洪斌, 王伟. 近 10 年重庆归一化植被指数变化分析[J]. 地理科学, 2010, 30(1): 119-123.
- [28] 杨胜天, 刘昌明, 杨志峰, 等. 南水北调西线调水工程区的自然生态环境评价[J]. 地理学报, 2002, 57(1): 11-18.
- [29] 苏伟, 孙中平, 李道亮, 等. 基于多时相 Landsat 遥感影像的海州露天煤矿排土场植被时空特征分析[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 5860-5868.
- [30] 张丽, 何晓旭, 魏鸣. 基于 NDVI 的淮河流域植被覆盖度动态变化[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(S1): 51-56.
- [31] 谭克龙, 王晓峰. 农牧交错区生态环境监测与动态变化分析: 以神府东胜地区为例[J]. 地球信息科学, 2006, 8(3): 109-113.
- [32] 李阳. 乡宁矿区植被覆盖度动态监测与评价[J]. 煤质技术, 2016(3): 55-59.

(上接第 275 页)

- [11] 高云福. 城市化发展与水系统的演变[J]. 城市勘测, 1998(3): 5-8.
- [12] 鲍超, 方创琳. 城市化与水资源开发利用的互动机理及调控模式[J]. 城市发展研究, 2010, 17(12): 19-23, 65.
- [13] 鲍超, 方创琳. 干旱区水资源对城市化约束强度的时空变化分析[J]. 地理学报, 2008(11): 1140-1150.
- [14] 张胜武, 石培基, 王祖静. 干旱区内陆河流域城镇化与水资源环境系统耦合分析: 以石羊河流域为例[J]. 经济地理, 2012, 32(8): 142-148.
- [15] 李珊珊, 马海良, 侯雅如. 北京市城镇化与水资源系统的动态耦合分析[J]. 人民长江, 2018, 49(1): 60-64, 74.
- [16] 李静芝, 朱翔, 李景保, 等. 洞庭湖区城镇化进程与水资源利用的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1677-1685.
- [17] 曹祺文, 鲍超, 顾朝林, 等. 基于水资源约束的中国城镇化 SD 模型与模拟[J]. 地理研究, 2019, 38(1): 167-180.
- [18] 聂春霞, 孙慧, 闫海龙, 等. 新疆艾比湖流域经济社会水资源配置研究[J]. 经济地理, 2014, 34(1): 156-160.
- [19] 熊鹰, 苏孟婷, 张方明, 等. 长株潭城市群城镇化进程与水资源利用响应关系研究[J]. 人文地理, 2018, 33(6): 69-76.
- [20] 傅湘, 纪昌明. 区域水资源承载能力综合评价: 主成分分析法的应用[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(2): 168-173.
- [21] 刘晗, 牛鸿雁, 叶亚琦. 哈尔滨水生态文明城市建设探索[J]. 中国水利, 2015(5): 53-55.
- [22] 丛东来, 邱晖. 城市土地集约利用与城市化效率的时空耦合关系: 以辽中南城市群为例[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 298-306, 311.
- [23] 方创琳, Yehua Dennis Wei. 河西地区可持续发展能力评价及地域分异规律[J]. 地理学报, 2001, 56(5): 561-569.
- [24] 刘耀彬. 江西省城市化与生态综合响应程度分析[J]. 自然资源学报, 2008, 23(3): 422-429.