

李慧璇, 黄林峰, 胡锋, 等. 贵州赤水河流域生态环境状况遥感监测分析[J]. 中低纬山地气象, 2023, 47(4): 25 - 30.

贵州赤水河流域生态环境状况遥感监测分析

李慧璇, 黄林峰, 胡 锋, 宋善海, 刘 芸

(贵州省生态气象和卫星遥感中心, 贵州 贵阳 550002)

摘 要:通过多源卫星遥感数据, 采用地学分析方法并利用 EI 指数定量评估贵州赤水河流域的生态环境状况, 指标体系包括生物丰度指数、植被覆盖指数、水网密度指数、土地胁迫指数、污染负荷指数等 5 个分指数。结果表明: (1) 赤水河流域生态环境状况 EI 指数为 68.15, 生态环境状况综合评价为良; (2) 赤水河流域贵州段的土地利用类型以林地和耕地为主, 流域监测区内生境质量为 I 级, 生物多样性丰富; (3) 流域 NDVI 平均值为 0.42, 植被覆盖度高, 固土护坡、水源涵养能力较强; (4) 流域雨水充沛, 河网密布, 大区域范围内水网密度指数高达 6.8; (5) 流域土地坡度起伏大, 监测区内中度以上土地侵蚀强度的土地面积约占 49%。相比而言, 流域污染负荷指数较低, 生态环境治理成效持续显现。

关键词:生态环境; 土地利用; 遥感监测; 植被指数

中图分类号:X87 **文献标识码:**A

Analysis of Ecological Environment in Chishui River Basin by Remote Sensing

LI Huixuan, HUANG Linfeng, HU Feng, SONG Shanhai, LIU Yun

(Guizhou Ecological Meteorological and Satellite Remote Sensing Center, Guiyang 550002, china)

Abstract:The ecological environment status of the Chishui River Basin in Guizhou Province is quantitatively evaluated by using geographic analysis methods and the EI index based on multisource satellite remote sensing data. The index system includes five sub - indices: biological abundance index, vegetation coverage index, water network density index, land stress index and pollution load index. The results show that: (1) the EI index of ecological environment status in Chishui River Basin was 68.15, and the comprehensive evaluation of ecological environment status was good; (2) the land use types in Guizhou section of Chishui River Basin are mainly woodland and cultivated land, the habitat quality in the basin monitoring area is grade I, and the biodiversity is rich; (3) the average NDVI of the basin is 0.42, the vegetation coverage is high, and the ability of soil consolidation and slope protection and water conservation is strong; (4) the basin has abundant rainfall, dense river network, and the density index of water network in a large area is as high as 6.8; (5) the land slope of the basin is highly fluctuating, and the land area with moderate or above land erosion intensity in the monitoring area accounts for about 49%. In contrast, the pollution load index of the basin is low, and remarkable achievements have been made in ecological environment control.

Key words:ecological environment; land use; remote sensing monitoring; vegetation index

收稿日期: 2022 - 10 - 12

第一作者简介: 李慧璇(1989—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事卫星遥感数据处理与应用等工作, E - mail: ga8fx37@163.com。

通讯作者简介: 黄林峰(1987—), 男, 博士, 高工, 主要从事生态气象遥感应用与推广等工作, E - mail: lxq850808@126.com。

资助项目: 贵州省科技计划项目(黔科合基础 - MK[2022]一般 278); 多源多尺度遥感在山区耕地非农、非粮化演变特征与扩散机制研究; 贵州省气象局科研业务项目(黔气科登[2021]03 - 06 号); 赤水河流域生态环境状况遥感监测与评价。

0 引言

随着我国对生态文明建设的高度重视,全社会对生态环境保护的认识不断加深,诸多学者也在该研究领域进行了积极的探索。进一步加大区域生态环境全方位监测和综合治理力度,利用卫星遥感技术对区域生态环境进行全天候、精准、快速和广视域的环境监测是各监管部门区域生态保护和生态文明建设的主要措施和手段,也是当今社会的重点研究课题^[1-3]。

区域生态环境状况遥感监测是生态环境治理的一项重要工作。目前,各界学者对生态环境的评价技术方法已从20世纪60年代初对生态环境的单要素调查发展为综合多源数据、多环境要素指标评价^[4-9]。此外,生态环境遥感监测已成为区域生态环境评价的重要手段之一,被广泛应用于城市、森林、沙漠、草地和湿地等区域,取得显著成效^[10-14]。赤水河流域作为贵州省重要的生态水源涵养地、生态屏障和经济地带,由于流域内喀斯特地貌广泛分布,生态敏感性和脆弱性并存,其生态环境保护问题长久以来备受关注。随着国产高分辨率卫星遥感数据自给率大幅提升,为贵州赤水河流域土地利用分类信息提取提供了可靠的数据支撑。且利用卫星影像对生态环境进行监测的技术方法在我国环境治理中已经越来越成熟,能更好地对流域生态环境状况进行高效判读^[15-19]。

以高分一号和高分二号卫星影像为主要数据源,通过对影像进行辐射定标、大气校正、正射校正、融合、镶嵌和波段运算等预处理,运用面向对象图像分类法中基于规则的面向对象分类法与基于样本的面向对象分类法进行流域土地利用分类的提取,并依据国家生态环境部发布的《生态环境状况评价技术规范(HJ192-2015)》^[20](以下简称《规范》),利用生物丰度、植被覆盖、水网密度、土地胁迫和污染负荷等多个指数对研究区的生态环境状况进行综合评估,以期对赤水河流域生态环境保护和综合治理提供科学依据和数据支撑。

1 研究区概况

赤水河属中国长江上游的一级支流,全流域覆盖云南、贵州和四川3省的4个地区级和13个县级行政单位。贵州境内赤水河流域地理位置为26°49′~28°54′N、104°09′~107°10′E,主要分布于播州、七星关、大方、金沙、仁怀、习水、赤水、桐梓等多个县区。

本次监测流域面积13 926.09 km²,流域海拔在

211~2213 m之间,高度落差>2000 m。研究范围、地理位置以及区域DEM如图1所示。

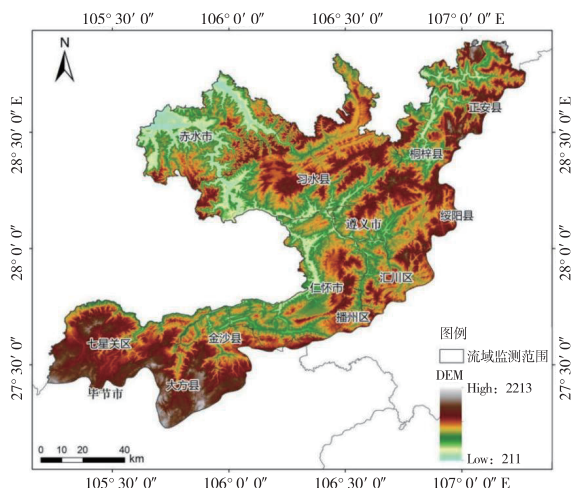


图1 赤水河流域监测范围及地理位置图

Fig. 1 The planning range and geographical location of Chishui River Basin

流域上游所在的毕节市七星关区、大方县和金沙县平均海拔最高,低海拔的区域基本都是河谷地带。流域下游赤水市平均海拔最低,呈现出较大面积的平缓河谷。流域整体水能丰富,年均降水1090 mm,降雨多集中在6—9月,降水量约占全年的75%。降水量在上游七星关区偏低,在下游赤水市偏高,分别为974.7 mm和1289.8 mm。

2 资料方法

2.1 数据来源与预处理

监测区资源和环境数据主要来源于中国环境监测总站的全国城市空气质量实时发布平台、贵州省宏观经济数据库和《贵州统计年鉴2021》。流域监测矢量范围来源于贵州省环境科学研究设计院。遥感影像数据为国家资源卫星中心提供的贵州省区域高分一号和高分二号影像资料,融合后影像分辨率分别为1 m、2 m。此外,影像处理过程中采用的DEM数据空间分辨率为12.5 m。

通过中国资源卫星与应用中心获得原始影像后,利用Titan批量处理软件进行数据预处理,处理过程包括影像解压、选片、建立金字塔、区域网平差像点量测、辐射定标、正射校正、融合、波段运算、匀色、镶嵌、裁剪等。

2.2 研究区生态环境状况评价方法

2.2.1 指标体系构建及计算方法 根据《规范》和流域特点,构建研究区生态环境状况的综合评价指标体系,最终利用生态环境EI指数来反映研究区生态环境现状,数值范围取值0~100。文章所构建的

5个指标体系共有和具体计算方法如下。

生态环境状况指数 (EI) = 0.35 × 生物丰度指数 + 0.25 × 植被覆盖指数 + 0.15 × 水网密度指数 +

0.15 × (100 - 土地胁迫指数) + 0.1 × (100 - 污染负荷指数) + 环境限制指数。各项指标的权重以及归一化系数如表 1 所示。

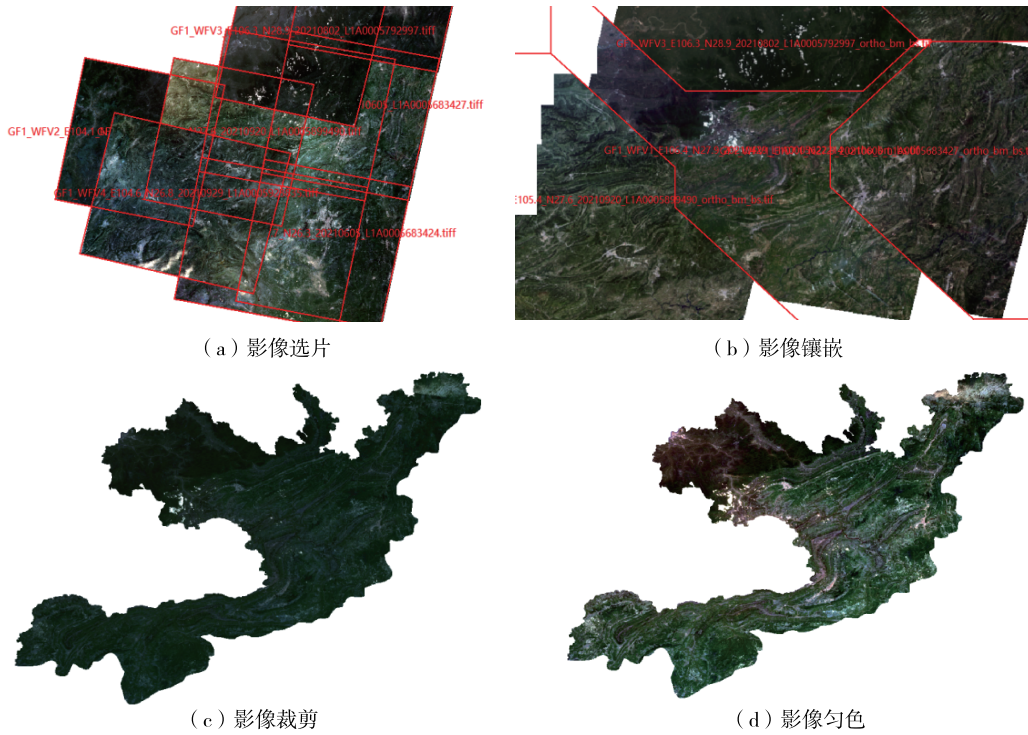


图 2 遥感影像预处理的部分过程及示意图

Fig.2 Part of the remote sensing image preprocessing and schematic diagram

表 1 流域生态环境状况指标体系及指标权重

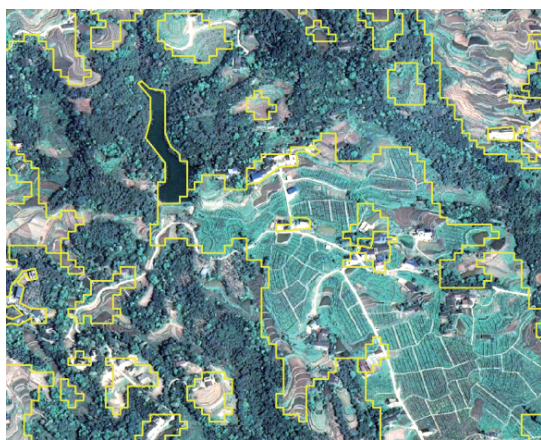
Tab.1 Index weight table of ecological environment status index of water wetland ecosystem type Nature Reserve

一级指标	权重	二级指标	分权重	归一化系数参考值
生物丰度指数	0.35	林地	0.35	511.264 213
		草地	0.21	
		水域湿地	0.28	
		耕地	0.11	
		建设用地	0.04	
		未利用地	0.01	
植被覆盖指数	0.25	NDVI	-	0.012 117
水网密度指数	0.15	河流长度	-	84.370 408
		水域面积	-	591.790 864
		水资源量	-	86.386 955
土地胁迫指数	0.15	重度侵蚀	0.4	236.043 568
		中度侵蚀	0.2	
		建设用地	0.2	
		其他土地胁迫	0.2	
污染负荷指数	0.1	化学需氧量	0.2	4.393 74
		氨氮	0.2	40.176 475
		二氧化硫	0.2	0.064 866
		烟粉尘	0.1	4.090 446
		氢氧化物	0.2	0.510 305
		固体废物	0.1	0.074 989

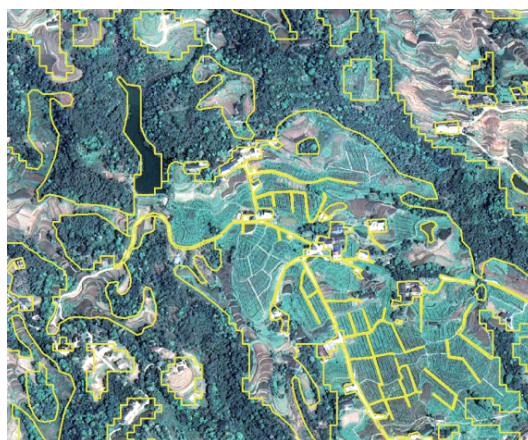
注:参考《生态环境状况评价技术规范 2015》。

2.2.2 生态环境状况分级 在分析过程中,结合生态环境状况指数计算结果,参考现有研究^[22],将生态环境分为优、良、一般、差4个等级。4个等级的分级标准分别为 $EI \geq 75$ 、 $55 \leq EI < 75$ 、 $35 \leq EI < 55$ 、 $EI < 35$ 。

3 结果及分析



(a) 机器影像分割



(b) 人工修正分割

图3 赤水河流域地类分割示意图

Fig.3 Class diagram segmentation of Chishui River Basin

人工修正和检验过程中,结合前期无人机外业采集的多个植被、建筑和水体等样本,使用人机判读法进一步完成流域空间分布信息提取,得到的地类分布结果如图4所示。

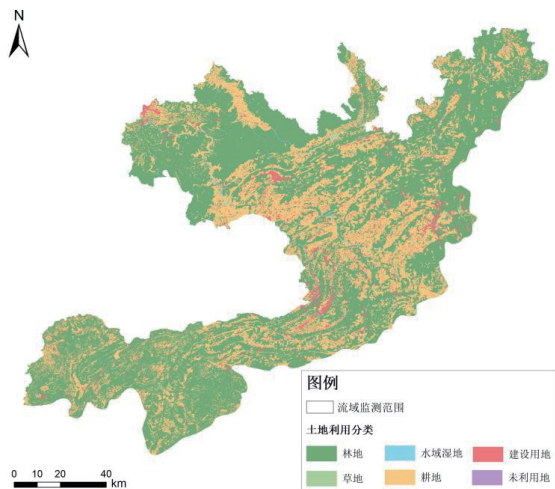


图4 2021年赤水河流域土地利用信息

Fig.4 Land use information of Chishui River Basin in 2021

根据提取得到的图斑类型,利用 ArcGIS 软件进行统计,得到流域监测范围内各地类的土地面积及土地利用类型占比(图略)。

3.1 流域地类提取及结果分析

得到研究区全域预处理结果影像后,进一步借助 ENVI 影像处理平台,采用面向对象法,根据高分辨率影像的光谱统计特征、纹理特征和形状大小特征等和实地采集的地类样本,对流域的林地、草地、水域湿地、耕地、建设用地和未利用地等6大地类进行地类分割和提取。

赤水河流域贵州段的土地利用类型主要以林地和耕地为主,占总面积的93.7%。其中,林地占63.28%,包括灌木林、有林地、疏林地和其他林地,耕地占30.26%。建设用地、草地、未利用地次之,分别占总面积的3.94%、1.45%、0.007%。

3.2 评价指数计算及结果分析

3.2.1 生物丰度指数 本次赤水河流域监测区内生物丰度指数主要通过计算林地、草地、水域湿地、耕地、建设用地和未利用地等不同生态因子所占区域的面积比重,并作归一化处理得到。根据地类面积提取结果,计算得到流域监测区内生物丰度指数为134.14。

根据刘华等^[23,24]研究,把生境质量 I_{RHQ} 最终的评价结果划分为优、良、一般、差、极差5个等级。5个等级的分级标准分别为 $I_{RHQ} \geq 75$ 、 $60 \leq I_{RHQ} < 75$ 、 $45 \leq I_{RHQ} < 60$ 、 $30 \leq I_{RHQ} < 45$ 、 $I_{RHQ} < 30$ 。

结果可见,赤水河流域监测区内生境质量等级为优,生物多样性丰富,以流域西北部的赤水市为最佳。

3.2.2 植被覆盖指数 结合高分遥感全年影像,计算监测区 NDVI 值,计算结果值中,岩石或裸土用0值表示,有植被覆盖的,数值越大,表示该地的植被覆盖情况越好。计算监测区 NDVI 结果如图5所示。其中,最大值为0.67,平均值为0.42。

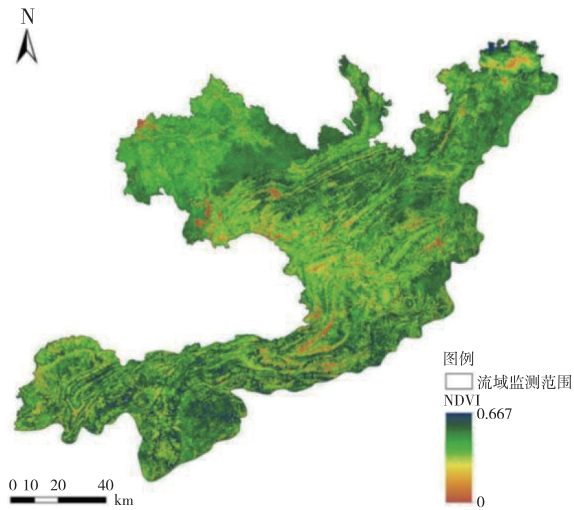


图5 赤水河流域(贵州段)2021年NDVI计算结果
Fig.5 NDVI of Chishui River Basin(Guizhou) in 2021

结果可见,流域植被覆盖度高,固土护坡、涵养水源能力较强,流域西北及西南部植被覆盖能力最强,森林多保持原始状态,人类活动干扰少。

3.2.3 水网密度指数 结合高分遥感影像和统计资料可知,赤水河流域贵州段多年平均降雨量约1100 mm,多年平均蒸发量为456 mm,多年平均径流量56.23亿 m³,多年平均地下水资源量15.72亿 m³,多年平均地表水资源量约为70.76亿 m³。此外,赤水河流域河网密布,三省范围内面积超过1000 km²的河流便有5条之多,其中二道河、桐梓河和习水河3条支流分布于贵州段的上中下游。

提取水域信息后,利用 ArcGIS 计算得到监测区的大小河流的总长度达2403.58 km,其中赤水河长度约300 km,水域面积127.06 km²。从研究区总面积基数大的角度看,河网整体面积占比少,计算得到水网密度指数结果为6.81,但从图6可见,流域河网密布,水系相对发达。

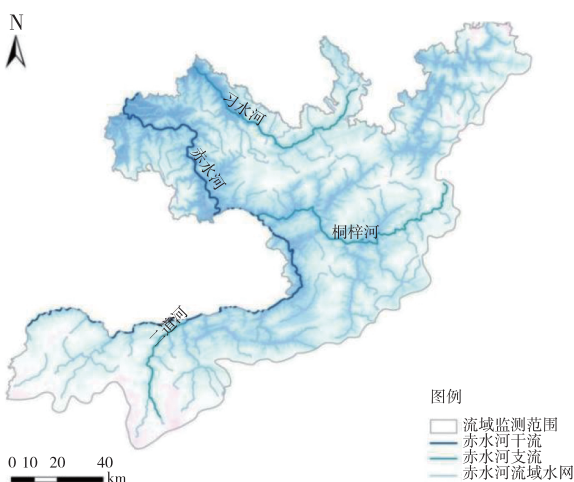


图6 赤水河流域(贵州段)河流分布
Fig.6 Distribution of Chishui River Basin(Guizhou)

3.2.4 土地胁迫指数 根据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-2007),将土壤侵蚀强度分为轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈5级(表2),把强烈、极强烈和剧烈侵蚀认为是重度侵蚀,利用土地类型提取信息、监测区坡度信息和植被覆盖指数,完成土壤侵蚀面积的计算。

表2 土地侵蚀强度分级
Tab.2 Erosion intensity classification

坡度/°	非耕地林草盖度/%					坡耕地
	>75	60~75	45~60	30~45	<30	
5~8	微度	轻度	轻度	轻度	中度	轻度
8~15	微度	轻度	轻度	中度	中度	中度
15~25	微度	轻度	中度	强度	强度	强度
25~35	微度	中度	中度	强度	极强度	极强度
>35	微度	中度	强度	极强度	剧烈	剧烈

计算流域坡度,结果如图7所示。

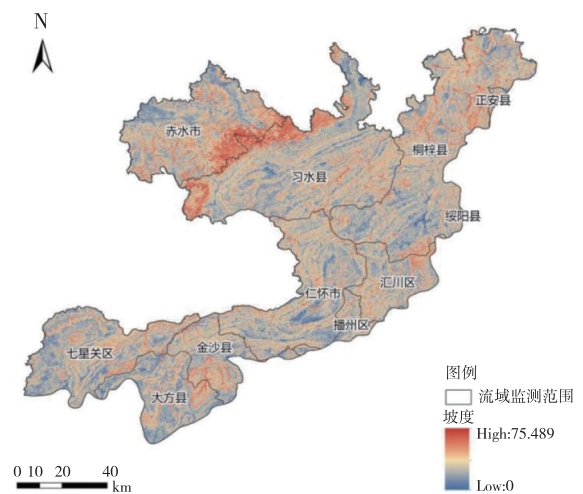


图7 赤水河流域(贵州段)坡度信息提取结果
Fig.7 Results of general gradient of Chishui River Basin (Guizhou) in information extraction

赤水河流域的地带性土壤类型以石灰土、紫色土和粗骨土为主,土质整体透水性虽强,但由于土层较薄,加之地形起伏大,流域整体相对容易被侵蚀。利用 AcrGIS 的空间分析模块得到监测区中度侵蚀面积4025.39 km²,占总面积28.9%,重度侵蚀面积2915.7 km²,占总面积20.9%。通过计算,土地胁迫指数计算结果为35.34。

土地胁迫指数与生态环境状况评价指数呈负相关,计算得到的土地胁迫指数值越大,代表流域内的土地质量受胁迫程度越大,对应的流域生态环境状况越差。

3.2.5 污染负荷指数 近年来,政府监管部门对赤水河流域水污染、土壤污染、固体废物污染和空气质量等的监管力度不断加大,且数据开放渠道越来越

越规范化。据地方相关资料,赤水河流域酿酒、煤矿等主要工业企业和现有规模化的畜禽养殖业相对较多,存在一定数量的点污染源。以区县为单位,监测区总磷、SO₂排放量、氨氮排放量和固体废物排放量均可从地方公开数据获取。但在计算过程中,因检测区域范围较大,受专业资料限制,监测区污染数据无法全面获取,根据可获取的数据,得到的流域污染负荷指数计算结果值为0.53。

4 结论与讨论

综合各指标计算结果,得到赤水河流域生态环境状况 EI 指数为 68.15,生态环境状况评价为良。可见,流域整体森林保护能力和水源涵养能力都比较强,主要表现为以下 4 点:生境质量优,生物多样性丰富;植被覆盖率高,固土护坡、水源涵养能力强;水资源丰富,生态水景好;生态区监测区污染防治成效显著,流域生态环境良好。

文章依托现有遥感在生态保护中的监测能力,收集 GF 系列卫星遥感数据,结合赤水河的区域特点及环境保护要点确定了基于高分卫星数据的流域地类分类提取方法。采用面向对象分类方法,通过构建研究区光谱特征、纹理特征及形状特征,完成研究区地类分类提取和地类面积计算。进一步利用地面数据和生态环境状况指数 EI 客观、真实地反映反映了贵州赤水河流域生态环境的整体状况,并制作了相应的专题图。该方法可有效提升流域生态环境感知和生态环境数据标准化水平,也能客观衡量生态环境保护工作的状况和水平。但是,贵州赤水河流域的生态环境是复杂的系统性问题,流域生态环境遥感监测也面临着诸多难题,比如 EI 指数综合评价中污染负荷指数的计算容易受监测范围和专业资料限制,无法全面获取数据。此外,由于数据时间域较窄,本文只能对流域生态环境现状进行评价,后续研究将进行多方位、多时相、长时序、多数据源的综合监测,关注流域生态环境的变化规律和区域经济的和谐可持续发展。

参考文献

- [1] 徐丽. 浅谈环境监测技术的现状和发展[J]. 环境科学导刊, 2010, 29(1): 115-118.
- [2] 国家林业局. 中国湿地保护行动计划[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [3] 陈善荣, 胡金朝, 吴宇欣. 以生态环境监测推动新时代生态文明建设[J]. 环境保护, 2018, 46(17): 7-9.

- [4] 周华荣. 新疆生态环境质量评价指标体系研究[J]. 中国环境科学, 2000, 20(2): 150-153.
- [5] 付哲, 周云轩, 刘殿伟, 等. 生态环境质量的空间模糊综合评价研究: 以吉林省西部为例[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(5): 97-102.
- [6] 李洪义, 史舟, 沙晋明, 等. 基于人工神经网络的生态环境质量遥感评价[J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1475-1480.
- [7] 郝永红, 周海潮. 区域生态环境质量的灰色评价模型及其应用[J]. 环境工程, 2002(4): 66-68.
- [8] 黄林峰, 李雪, 廖瑶, 等. 基于 GF5 高光谱影像水体叶绿素 a 浓度估算分析——以贵州晴隆光照湖为例[J]. 中低纬山地气象, 2021, 45(1): 29-32.
- [9] 刘敏. 生态环境综合指数法在规划环评中的应用研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2010: 34-41.
- [10] 孟岩, 赵庚星. 基于卫星遥感数据的河口区生态环境状况评价——以黄河三角洲垦利县为例[J]. 中国环境科学, 2009, 29(2): 163-167.
- [11] 刘虎, 姜岳, 夏明宇, 等. 基于 30 a 遥感监测的矿区生态环境变化——以南四湖周边矿区为例[J]. 金属矿山, 2021, 10(4): 197-206.
- [12] 韩刚, 李瑞平, 王思楠, 等. 基于多尺度遥感数据的荒漠化草原旱情监测及时空特征[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(6): 1301-1308.
- [13] 马菁, 张学俭. 遥感技术在森林资源监测中的应用[J]. 宁夏农林科技, 2018, 59(8): 20-22.
- [14] 赵志辉, 李燕, 赵立中. 遥感技术在城市环境监测中的应用研究进展[J]. 河北遥感, 2011(4): 14-16.
- [15] 高吉喜, 赵少华, 侯鹏. 中国生态环境遥感四十年[J]. 地球信息科学报, 2020, 22(4): 705-719.
- [16] 姚延娟, 王桥, 吴迪. 饮用水水源地环境质量遥感监测评价与应用示范[J]. 环境保护, 2016(21): 36-41.
- [17] 孔新红, 樊建勇, 马中元, 等. 利用遥感技术评价仙女湖景区生态环境[J]. 气象水文海洋仪器, 2011, 28(1): 40-44.
- [18] 沈润, 罗琪, 叶蕾, 等. 基于遥感的自然生态环境监测与评价——以普洱市思茅区为例[J]. 自然科学, 2021, 9(1): 64-71.
- [19] 缪鑫辉, 梁勤欧. 基于遥感生态指数的甬江流域生态环境变化分析[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(2): 427-438.
- [20] 生态环境状况评价技术规范中华人民共和国环境保护部. 生态环境状况评价技术规范: HJ192—2015[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2015.
- [21] 杨骏. 贵州历史性跨越的生态进阶研究——从欠发达地区生态现代化的视角看[D]. 北京: 中国人民大学, 2008.
- [22] 刘洪岐. 基于 RS 和 GIS 的北京市生态环境评价研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2008.
- [23] 刘华, 蔡颖, 於梦秋, 等. 太湖流域宜兴片河流生境质量评价[J]. 生态学杂志, 2012, 1(5): 1288-1295.
- [24] 王强, 袁兴中, 刘红, 等. 基于河流生境调查的东河河流生境评价[J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1548-1558.