

陈起伟,熊康宁,兰安军. 基于土地利用结构的贵州石漠化综合治理[J]. 江苏农业科学,2019,47(2):268-271.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.02.065

基于土地利用结构的贵州石漠化综合治理

陈起伟^{1,2,3}, 熊康宁^{1,2}, 兰安军^{1,2}

(1. 贵州师范大学中国南方喀斯特研究院, 贵州贵阳 550001; 2. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵州贵阳 550001;
3. 贵州师范学院地理与旅游学院, 贵州贵阳 550018)

摘要:以典型岩溶区贵州省为研究对象,以 2015 年高分一号和资源三号卫星影像数据为数据源,分别解译出石漠化和土地利用现状,叠置分析贵州省发生石漠化区的土地利用结构。结果发现,贵州省石漠化面积为 27 956.63 km², 占国土总面积的 15.9%,旱地、灌木林地、草地等 6 种土地利用类型是贵州发生石漠化的主要土地利用类型,而高达 76.1%的石漠化面积分布在旱地、灌木林地和草地这 3 种土地利用类型。根据贵州石漠化区土地利用结构,贵州石漠化治理应以封山育林、经济林和草地建设为主,辅以防护林建设,配套相应的农田水利工程及畜牧业工程,实现对石漠化的综合治理。

关键词:岩溶;石漠化;综合治理;土地利用结构;贵州

中图分类号: X171.4;S157 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)02-0268-04

石漠化是在湿润、半湿润气候条件和喀斯特极其发育自然背景下,由于不合理的社会经济活动,造成土壤侵蚀、岩石逐渐裸露,地表呈现类似荒漠景观的演变过程与结果^[1]。我国南方石漠化与黄土高原的水土流失、西北地区的沙漠化成为我国三大生态灾害^[2],已成为制约该地区可持续发展的核心问题之一,也是造成西南岩溶地区贫穷落后的主要根源之一,严重威胁到人们的生存环境^[3]。20 世纪 90 年代以来,我国日益重视石漠化相关研究,不少学者对石漠化的定义^[4]、遥感解译^[5]、分布及演变^[6-8]、影响因素^[9]、生态环境影响^[10]

和防治对策^[11-12]等方面作了大量研究,取得了丰硕的研究成果,为当前的石漠化防治提供了坚实的理论支持和实践经验。不同的土地利用方式导致石漠化立地条件、退化过程、治理模式有很大差异,当前石漠化防治忽视了石漠化的成因类型和不同成因类型的石漠化土地的生态价值及治理^[13]。忽视不同土地利用所形成的石漠化生态环境异同性,会影响石漠化治理成效^[14]。2008 年,我国启动了南方 8 省(市、区)石漠化综合治理专项试点工程,经过 8 年的专项治理后,我国石漠化面积和程度都有较大程度降低,但仍有很多县(市、区)须要治理的石漠化面积大、治理任务重,很多地方治理模式选择较为单一,没有结合地区石漠化的主导因子及土地利用结构,缺乏石漠化治理针对性,治理模式单一,缺乏综合治理合力,治理效果差。石漠化与土地利用类型、水土流失密切相关,石漠化治理工程布设须综合分析石漠化区的岩性、土地利用方式、石漠化成因等综合布局,科学规划、因地制宜地选择各种治理模式。本研究以我国石漠化面积最大、最严重、最典型的贵州省作为研究对象,分析贵州省石漠化区土地利用构成、不同土地利用类型的石漠化发生率、石漠化发生和治理的土地利用背景,明确贵州省石漠化治理的主导方向和措施,为贵州及其他岩溶区石漠化防治提供参考。

收稿日期:2017-09-23

基金项目:国家自然科学基金(编号:41561066);国家重大科技支撑计划(编号:2016YFC0502607);贵州省科技支撑计划(编号:黔科合 SY 字[2013]3160 号);贵州省水利科技经费项目(编号:KT201602)。

作者简介:陈起伟(1981—),男,重庆人,博士研究生,副教授,主要从事喀斯特生态治理与地理信息系统研究。E-mail: cqw863@163.com。

通信作者:熊康宁,硕士,教授,博士生导师,主要从事喀斯特与洞穴及石漠化生态治理等研究。E-mail: xiongkn@163.com。

[18] 樊香所. 基于风云卫星中分辨率数据的农业种植区信息提取方法研究[D]. 成都:电子科技大学,2015:17-45.

[19] Xiao X M, Boles S, Liu J Y, et al. Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 95(4): 480-492.

[20] 景毅刚. 利用 EOS/MODIS 信息提取陕西冬小麦种植面积研究[J]. 陕西农业科学, 2008, 12(2): 95-98.

[21] 单晋婷. 农业 GAP 系统中的卫星地图土地分割及融合算法[D]. 长沙:湖南师范大学,2013:28-47.

[22] 朱晓晨,高 场,高佳琦,等. 基于 GIS 的区县级暴雨洪涝风险评估方法[J]. 热带地理,2014,34(5):704-711.

[23] 王 莹,苏永秀,李 政. 广西西部山区日最低气温短序列订正

方法[J]. 山地学报,2012,30(2):186-194.

[24] Coulibaly P, Evora N D. Comparison of neural network methods for infilling missing daily weather records[J]. Journal of Hydrology, 2007, 341(1/2): 27-41.

[25] 李世奎,霍治国,王道龙,等. 中国农业灾害风险评价与对策[M]. 北京:气象出版社,1999:3-5.

[26] 彭祖赠,孙温玉. 模糊数学及其应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2002:40-45.

[27] 梁必驱,樊 琦,杨 洁,等. 热带气旋灾害的模糊数学评价[J]. 热带气象学报,1999,15(4):305-311.

[28] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,1996:224-249.

1 材料与方 法

1.1 数据源与研究方法

遥感解译以2015年我国资源卫星应用中心高分一号和资源三号卫星影像为遥感调查数据源,影像空间分辨率为8 m,贵州省共涉及卫星影像73景,在遥感图像处理软件ERDAS平台下进行影像校正,并进行相应的影像增强处理后作为遥感解译数据源。土地利用类型参考全国土地利用分类标准,结合喀斯特石漠化专项治理工程三大主要类型,土地利用类型只划分到主要的二级类型,划分出旱地、灌木林地、草地等9种土地利用类型。石漠化等级参考熊康宁等关于石漠化等级分类^[4],根据基岩裸露度、土层厚度等指标综合判定石漠化等级程度。人机交互解译成果通过GPS抽样实地验证精度达到90%后拼接成全省石漠化和土地利用专题图,在ArcGIS软件中进行石漠化图和土地利用图的空间叠加分析,剖析石漠化在各种土地利用类型的发生率和等级。

1.2 贵州省石漠化现状

根据贵州石漠化监测数据,贵州省喀斯特出露面积大,石漠化土地分布较广,石漠化分布较为复杂。2015年喀斯特面积为109 079.4 km²,占全省国土面积的61.9%,无石漠化面积为61 277.93 km²,石漠化(轻度石漠化及以上,下同)面积为27 956.63 km²,占全省国土面积的15.9%,其中轻度、中度、强度石漠化面积分别为18 347.20、7 020.86、2 588.57 km²,分别占石漠化面积的65.6%、25.1%、9.3%,贵州仍是全国石漠化面积最大的省份,治理任务较为艰巨。贵州石漠化强度仍以轻度石漠化为主,治理难度不大。同时,贵州潜在石漠化面积为19 844.8 km²,占全省面积的11.3%,石漠化潜在风险仍较大,须要加强管护。贵州石漠化分布具有明显的区位特征(图1),中强度石漠化集中分布在贵州的西部和西南部,总体上呈现西南部严重、南部较重、北部轻微、中东部轻的整体特征^[15]。

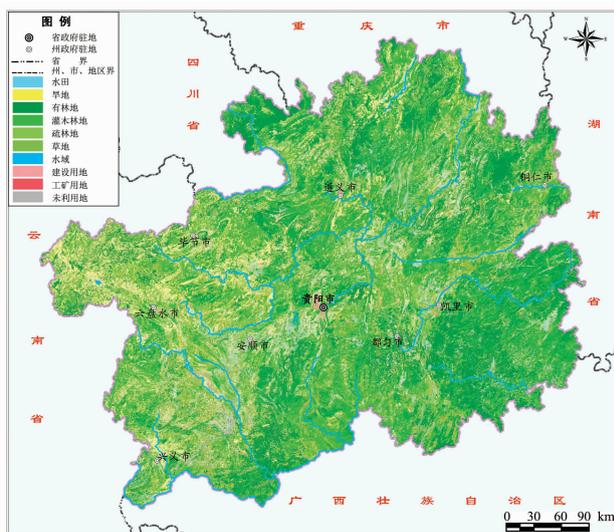
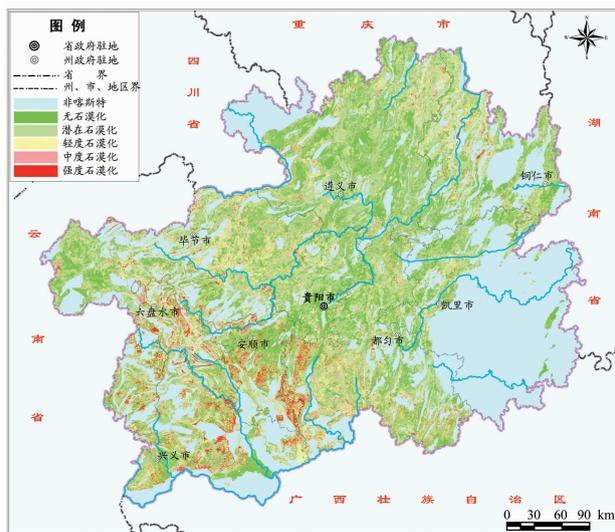


图1 贵州省石漠化分布(左)和土地利用分布(右)

2 石漠化区土地利用结构分析

2.1 石漠化区土地利用构成

在ArcGIS软件中将贵州省土地利用图与石漠化图进行空间叠置叠加,分析石漠化区土地利用结构。叠置分析结果显示,贵州石漠化与土地利用类型有很强的相关性,贵州省石漠化主要发生在旱地、有林地、灌木林地、疏林地、草地和未利用地这6种土地利用类型,其他土地利用类型中石漠化分布很少,石漠化治理可以根据土地利用结构采取对应的治理措施。

贵州石漠化面积最大的土地利用类型是灌木林地(表1),其面积为8 687.04 km²,占贵州石漠化总面积的31.1%。贵州地势起伏较大,地表破碎,大部分峰丛和峰林土层浅薄,土壤肥力条件差,植被以灌丛为主,植被覆盖度较低,因此大部分峰丛和峰林都沦落成轻度、中度石漠化区。旱地是贵州石漠化面积第二类土地利用类型,其发生石漠化的面积为6 841.19 km²,占石漠化总面积的24.5%,由于贵州地势起伏大,喀斯特区成土速度慢,土层薄,土地产出较低,因人口压力

大而大面积开垦土地,保护不当发生水土流失而形成石漠化。旱地石漠化等级主要以中度、强度石漠化为主。发生石漠化的第三大类土地利用类型是草地,其石漠化面积为5 719.87 km²,占贵州石漠化面积的20.5%,贵州草地总面积较大,但草地等级较低,以不可食牧草为主。统计数据表明,石漠化主要发生在灌木地、旱地、草地等3种土地利用类型上,占贵州石漠化总面积的76.1%,因此贵州石漠化治理应

表1 石漠化区土地利用面积统计

土地利用类型	石漠化面积 (km ²)	占石漠化比重 (%)	占该地类比重 (%)
旱地	6 841.19	24.5	19.1
有林地	3 150.89	11.3	6.5
灌木林地	8 687.04	31.1	20.8
疏林地	2 312.72	8.3	22.0
草地	5 719.87	20.5	31.4
工矿用地	30.29	0.1	3.0
未利用地	1 214.66	4.3	51.1
小计	27 956.66	100.0	15.9

抓住这3种主要土地利用类型,对应地采取封山育林、经济林及草地改良等治理措施治理石漠化。

统计各种土地利用发生石漠化的面积,分析其石漠化的发生率。贵州未利用地石漠化发生率最高,石漠化面积占其总面积的比例达51.1%,贵州未利用地主要是荒草地和裸岩石砾地,这些区域土被覆盖不连续,林草覆盖度低,基岩裸露率高,普遍已经发生石漠化。草地石漠化发生率达到31.4%,草地发生石漠化的区域主要为天然草地区,因本身土层浅薄,营养成分较少,植被生长缓慢,基岩出露面积大。针对未利用地和草地这2种土地利用类型石漠化发生率高,应根据其立地条件有针对性地布设措施进行防治。疏林地和灌木林地石漠化发生率也超过20%,说明贵州很大部分喀斯特灌丛覆盖度仍较低。贵州旱地石漠化发生率也较高,达到19.1%,近1/5的旱地区域存在着不同程度的石漠化,贵州是我国唯一没有平原支撑的省份,坡耕地较多、土层浅薄、土壤贫瘠,不合理地开垦导致水土流失后而形成石漠化。

2.2 各种石漠化等级土地利用构成

相同土地利用类型,不同石漠化等级强度的土地,在治理措施上也有较大差异,统计分析各种土地利用类型不同石漠化等级面积,分析不同等级石漠化治理措施。由表2可知,贵州省石漠化和土地利用具有较强的相关性,无石漠化主要集中在有林地、灌木林地和旱地这3种土地利用类型上,占整个贵州省无石漠化面积的68.1%;潜在石漠化主要分布在灌木林地和旱地2种土地利用类型上,占整个潜在石漠化总面积

的65.0%,虽然当前石漠化治理专项工程没有将潜在石漠化纳入工程治理,但建议尽早将潜在石漠化纳入石漠化治理专项工程范围,采取以封山育林、保土耕作等投入较少的管护措施防止其恶化演变成石漠化;轻度石漠化主要发生在草地、灌木林地和旱地3种土地利用类型,占轻度石漠化总面积的74.4%,这些区域土被覆盖连续,可以采取保护性开发利用措施,采用防护林、经济林及草地改良等措施增加经济收入的同时提供林草覆盖度,从而达到治理石漠化目标;中度石漠化主要分布在灌木林地、旱地和草地3种土地利用类型上,其面积占中度石漠化总面积的79.0%,贵州中度石漠化地区土壤覆盖不连续,土层浅薄,开发利用较为困难,石漠化治理方向应以保护治理为主,采取人促封山育林、经济林与草地套种、防护林等治理措施提高林草覆盖度,减少基岩裸露和水土流失;贵州强度石漠化主要分布在旱地、草地和灌木林地3种土地利用类型,其比例占到强度石漠化总面积的79.3%,强度石漠化区一般坡度较大,基岩裸露率高,土壤很少,立地条件恶劣,采取工程措施治理难度大,治理效果差,治理措施上主要采取自然封育、退耕等自然修复措施,减少人类活动影响,促进自然修复。结果表明,各种发生石漠化的土地利用构成都相对集中,灌木林地、旱地、草地是贵州石漠化的3种土地利用类型,也是中度、强度石漠化的主要土地利用类型,贵州石漠化治理工作须紧紧抓住这3种主要土地利用类型,根据不同石漠化等级程度的土地利用状况,分别采取有针对性的治理工程措施。

表2 贵州省石漠化与土地利用矩阵分析

类型	不同土地利用面积(km ²)										
	水田	旱地	有林地	灌木林地	疏林地	草地	水体	建设用地	工矿用地	未利用地	小计
无石漠化	9 845.43	12 656.51	16 008.22	13 076.67	1 903.26	4 346.05	937.98	1 517.40	621.77	364.64	61 277.93
潜在石漠化	0.00	6 065.88	2 950.34	6 826.46	1 279.83	2 462.89	0.00	0.00	32.37	227.04	19 844.81
轻度石漠化	0.00	4 456.97	2 677.10	5 933.39	1 469.64	3 256.93	0.00	0.00	19.06	534.12	18 347.21
中度石漠化	0.00	1 802.66	436.20	2 116.70	616.89	1 629.59	0.00	0.00	8.31	410.53	7 020.88
强度石漠化	0.00	581.56	37.59	636.95	226.19	833.35	0.00	0.00	2.92	270.01	2 588.57
非喀斯特	4 797.24	10 171.75	26 566.20	13 145.57	5 005.89	5 665.74	466.53	380.39	318.24	569.85	67 087.40
小计	14 642.67	35 735.33	48 675.65	41 735.74	10 501.70	18 194.55	1 404.51	1 897.79	1 002.67	2 376.19	176 166.80

根据石漠化与土地利用矩阵表,进一步分析各种土地利用类型的石漠化强度分布。结果表明,有林地主要为无石漠化和潜在石漠化,灌木林地主要为无石漠化、潜在石漠化,疏林地以轻度石漠化和无石漠化为主,旱地主要为无石漠化、潜在石漠化和轻度石漠化,草地主要为无石漠化和轻度石漠化,未利用地主要为轻度石漠化和中度石漠化,土地利用类型及构成在一定程度上决定了区域石漠化等级及强度。

2.3 基于土地利用结构的石漠化治理

贵州石漠化强度及等级与土地利用类型有较强的相关性,石漠化恢复治理模式须要紧密结合石漠化成因类型、土地利用现状、区域自然条件、社会经济状况等因素进行合理选择。贵州发生石漠化面积最大的土地利用类型是灌木林地,其石漠化强度以轻中度石漠化为主,这些区域有一定的灌草植被分布,加上贵州水热条件较好,因此在石漠化灌木林地地区采取以封山育林为主的治理模式,辅以补植补造可在较低投入下有效地对石漠化进行治理。旱地是贵州发生石漠化的第二大类土地利用类型,其土被覆盖不连续,基岩裸露而影响农

耕,结合当前我国的大生态、退耕还林战略,大部分区域因坡度较大实施坡改梯工程措施性价比低,建议调整种植结构,从传统的种粮转变为经济林、人工草地等。对旱地进行石漠化治理最大的问题在于须要保障农户的石漠化旱地在进行石漠化治理的同时农户能得到经济效益,因此在工程布设过程中基本上都以经济林和人工种草为主,但人工种草须要农户有养殖配套,因此经济林成为治理石漠化旱地的主要模式。贵州石漠化旱地主要以轻度和中度石漠化为主,在石旮旯中间有较厚土壤,能保障经济林栽植需求。但当前石漠化治理经济林造林单价较低,缺乏造林补助,在后期石漠化治理中,应将符合退耕条件的石漠化旱地全部纳入退耕还林,或借鉴退耕还林模式,加大对石漠化旱地经济林造林补助,保证造林成功率。草地是贵州石漠化的第三大类土地利用类型,主要为轻度石漠化和中度石漠化,可借鉴贵州“晴隆模式”通过人工种草及草地改良的方式发展特色山地畜牧业,但必须严格控制草地载畜量或者采用圈养方式防止破坏草地,在立地条件适宜的地方栽植防护林促进其生态恢复。贵州石漠化治理应

以封山育林、经济林和草地建设为主,辅以防护林建设,配套相应的农田水利工程及畜牧业工程,实现对石漠化的综合治理。

贵州石漠化面积大、石漠化等级程度深,治理石漠化既要不断减小石漠化面积,又要遏制石漠化程度加重,还须防止潜在石漠化进一步恶化,当前不能实现全面同步治理,石漠化防治工程应抓住重点,从轻度、中度石漠化区域入手,治理成效明显,难度小,遏制石漠化发展态势。在轻度、中度石漠化区域整合当前的退耕还林、精准扶贫产业工程中采取营造经济林、防护林和草地建设的方式提高林草覆盖度,达到治理石漠化的目标,同时保障农户能够获得一定的经济效益。贵州强度石漠化区域面积为2 588.57 km²,其生境条件差,土壤较少,甚至无水土流失,农用价值基本丧失,开发利用难度大,石漠化治理应以自然恢复与生态环境保护为主,通过人工促进封山育林、防护林等措施促进生态系统恢复。贵州潜在石漠化区域风险程度也较高,旱地和灌木林地是贵州潜在石漠化主要的土地利用类型,须采取保土耕作、封山育林等措施加强对潜在石漠化区的保护,防止其进一步恶化而演变成石漠化区域。按照当前石漠化治理专项工程50万元/km²的单价标准计算,贵州27 956.66 km²的石漠化面积还须要投入治理资金约139.8亿元。但实践经验表明,石漠化区并不是经过工程治理后就能转变成无石漠化或石漠化等级强度就立刻降低,石漠化治理是一个漫长的生态修复过程,治理效果是逐渐显现的,工程治理更多是点状,对广大的石漠化区域而言工程治理还远远不够,还须采取农村电价补助、减少薪柴依赖、农村剩余劳动力转移降低农村人口压力等辅助措施进行综合治理。

3 讨论与结论

根据当前石漠化治理专项工程的林业、水利、草地三大类工程类型,按照三大类工程中石漠化治理工程措施对主要土地利用类型进行分类,指明贵州石漠化治理的方向和重点。但土地利用类型划分不够全面,缺乏对石漠化区坡度、土层厚度、土壤类型等立地因子信息还无法全面针对石漠化区土地利用类型布局各项治理二级工程。要实现石漠化区的科学综合治理,须在综合分析各种石漠化驱动因子的基础上,根据区域自然、社会经济条件,结合区域发展规划进行综合布设工程。

虽然土地利用类型与石漠化存在较大耦合关系,石漠化治理须要结合土地利用状况布设工程,但石漠化主要是由人类的不合理活动造成的,因此,石漠化治理工程还须考虑人为因素,如果不能准确地分析产生石漠化的人为因素从根本上采取相应的政策措施,不改变人类活动对喀斯特石漠化区的错误开发利用,减少石漠化区人口压力以适应喀斯特区环境承载力,石漠化治理将很难破解“开发破坏—工程治理—再开发破坏—再治理”的循环难题。

经过多年石漠化治理专项工程及其他生态工程的治理,贵州石漠化面积和程度均呈下降趋势。2015年石漠化面积为27 956.66 km²,占全省国土面积的15.9%,仍是我国石漠化最严重的省份,贵州石漠化主要以轻度石漠化为主,石漠化的分布和强弱程度空间分布差异明显,石漠化和强度石漠化主要集中分布在贵州西南区域。

贵州石漠化与土地利用类型存在较大的耦合关系,石漠化主要发生在旱地、灌木林地、草地等6种土地利用类型。灌木林地、旱地和草地石漠化面积占贵州石漠化总面积的76.1%。石漠化的发生程度也和土地利用有一定相关性,灌木林地、旱地和草地主要以轻度、中度石漠化为主,而未利用地主要为轻度、中度石漠化。

贵州石漠化治理应紧紧抓住灌木林地、旱地和草地这3种主要的发生石漠化土地利用类型,对应采取封山育林、经济林和草地建设为主的治理模式,辅以防护林建设,配套相应的农田水利工程及畜牧业工程,实现对石漠化的综合治理,根据不同土地利用类型、石漠化程度采取相应的治理措施。贵州石漠化治理应以林草植被保护和建设为重点,坚持生态立省底线,加强喀斯特山区灌草恢复治理力度,特别关注耕地石漠化治理,辅以特色经果林种植及人工种草,结合区域农业经济发展方向,整合其他项目资金,因地制宜布设特色山地高效农业,实现山、水、林、田、路综合防治。

参考文献:

- [1] Zeng C, Wang S J, Bai X Y, et al. Soil erosion evolution and spatial correlation analysis in a typical karst geomorphology, using RUSLE with GIS[J]. *Solid Earth*, 2017, 52(8): 721–736.
- [2] 周余义. 典型石漠化地区可持续发展研究——以贵州省关岭县为例[D]. 武汉: 华中师范大学, 2012.
- [3] 颜萍, 熊康宁, 王恒松, 等. 喀斯特地区不同等级石漠化土壤的理化性质[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(3): 322–327.
- [4] 熊康宁, 黎平, 周忠发, 等. 喀斯特石漠化的遥感——GIS典型研究[M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [5] 张盼盼, 胡远满, 肖笃宁, 等. 一种基于多光谱遥感影像的喀斯特地区裸岩率的计算方法初探[J]. *遥感技术与应用*, 2010, 25(4): 510–514.
- [6] Huang Q H, Cai Y L. Spatial pattern of karst rock desertification in the Middle of Guizhou Province, Southwestern China [J]. *Environmental Geology*, 2007, 52(7): 1325–1330.
- [7] 韩昭庆, 冉有华, 刘俊秀, 等. 1930s—2000年广西地区石漠化分布的变迁[J]. *地理学报*, 2016, 71(3): 390–399.
- [8] 白晓永, 王世杰, 陈起伟, 等. 贵州土地石漠化类型时空演变过程及其评价[J]. *地理学报*, 2009, 64(5): 609–618.
- [9] 王世杰, 李阳兵, 李瑞玲. 喀斯特石漠化的形成背景、演化与治理[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(6): 657–666.
- [10] 黄秋英, 蔡运龙, 王秀春. 我国西南部喀斯特地区石漠化研究进展[J]. *自然灾害学报*, 2007, 16(2): 106–111.
- [11] 雷薇, 张超, 周文龙, 等. 贵州省水利建设、生态建设和石漠化治理的耦合性[J]. *水土保持通报*, 2015, 35(4): 258–262.
- [12] 蒋忠诚, 李先琨, 覃小群, 等. 论岩溶峰丛洼地石漠化的综合治理技术——以广西平果果化示范区为例[J]. *中国岩溶*, 2008, 27(1): 50–55.
- [13] 许联芳. 西南喀斯特区域土地利用与石漠化相关性分析——以环江毛南族自治县为例[J]. *国土与自然资源研究*, 2009, 15(1): 18–20.
- [14] 李阳兵, 白晓永, 周国富, 等. 中国典型石漠化地区土地利用与石漠化的关系[J]. *地理学报*, 2006, 61(6): 624–632.
- [15] 陈起伟, 熊康宁, 兰安军. 基于3S的贵州喀斯特石漠化遥感监测研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2014, 28(3): 62–67.