

2010—2015年贵州省关岭县石漠化时空演变 及人类活动影响因素

姚永慧¹, 索南东主^{1,2}, 张俊瑶^{1,2}, 胡宇凡^{1,2}, 寇志翔^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:石漠化是中国西南喀斯特地区面临的重要环境问题之一,其演化过程和驱动机制分析一直是相关研究领域的难点和热点,尤其是人类活动的影响分析方面仍有待于进一步研究。论文选择贵州石漠化极其严重的关岭县为研究区,利用2010年SPOT5/ALOS数据、2015年的高分一号/资源三号数据等,结合地面调查、采用目视解译的方法获得了2010—2015年石漠化分布、演化过程及驱动因素等信息;在系统分析石漠化的空间分布及演化过程的基础上,着重分析土地利用类型、社会经济水平及石漠化治理工程等人类活动因素对贵州石漠化演化的影响。研究结果表明:①关岭县石漠化土地占有很大比重(2015年占总土地面积的45%以上)且以中度石漠化为主;②石漠化总体上得到明显改善,石漠化土地面积逐年减少,尤其是重度石漠化和极重度石漠化土地明显减少,但仍有部分石漠化土地的状况在恶化。③人类活动对石漠程度和演化过程具有重要的影响,首先,土地利用类型尤其是灌木林、旱地和有林地对石漠化演化起着重要的作用;其次,人口密度较大和GDP较高的地区,石漠化程度也较高且石漠化恢复治理的效果越不明显;另外,关岭县的各类石漠化治理工程取得了显著的成果,约1/3的处于稳定和得到改善的石漠化土地是通过治理工程来实现的。本文查明了土地利用类型、人口及石漠化治理工程与石漠化演化的关系,研究结果可为石漠化治理与生态恢复工作提供科学的依据。

关键词:喀斯特;石漠化;时空格局;演化过程;驱动机制;贵州

中国西南地区的云南、贵州、广西等地是中国喀斯特分布最集中的地区,总面积176.08万km²,其中裸露与半裸露的碳酸盐岩的分布面积占总面积的41.3%(卢耀如, 2003)。石漠化问题是这些地区面临的主要环境问题,与北方沙漠化和黄土高原地区水土流失并称为中国3大土地退化问题(吴秀芹, 2006),严重阻碍地区经济与环境的可持续发展。脆弱的喀斯特生境也是当今国际地学研究的热点(李阳兵等, 2002; Li et al, 2013; Jiang et al, 2014),一大批学者分别从喀斯特石漠化的环境地质背景、地理地貌背景、地表作用过程及人地关系等角度对石漠化的形成和发展进行了研究,并尝试揭示其演化的驱动机制。

石漠化过程是由植被退化演替过程、土壤侵蚀过程、地表水流失过程、碳酸盐岩溶蚀侵蚀过程、土地生物生产力退化过程组合而成的地表生态过程(熊康宁等, 2002; 魏兴琥等, 2008; Tang et al, 2018)。在石漠化过程及其成因研究方面,目前主要利用2~3期Landsat TM数据,通过人机交互解译或目视解译的方法提取石漠化信息,并比较分析各期之间的变化情况(胡宝清等, 2006; 王兮之等, 2007; 白晓永等, 2009)。在变化探测方法上主要采用双时序变化探测方法,即根据2~3期遥感影像,比较时相上的变化(李森等, 2007);变化探测的时段也主要集中在1986—2000年间(白晓永等, 2009; Xu et al, 2013; Xu et al, 2014)。在石漠化过程分析的基础上,从自

收稿日期:2018-09-18;修订日期:2019-04-11。

基金项目:国家自然科学基金项目(41571099, 41001278)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41571099 and 41001278.]

第一作者简介:姚永慧(1975—),女,湖北安陆人,博士,副研究员,研究方向地理时空数据分析。E-mail: yaoyh@lreis.ac.cn

引用格式:姚永慧,索南东主,张俊瑶,等. 2019. 2010—2015年贵州省关岭县石漠化时空演变及人类活动影响因素[J]. 地理科学进展, 38(11): 1759-1769. [Yao Y H, Suonan D Z, Zhang J Y, et al. 2019. Spatiotemporal characteristics of karst rocky desertification and the impact of human activities from 2010 to 2015 in Guanling County, Guizhou Province. Progress in Geography, 38(11): 1759-1769.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2019.11.011

然和人类活动等驱动因素上对石漠化的演化机制进行了分析,研究表明人类活动叠加在喀斯特特殊的岩性、坡度、土壤、构造和植被等组合上,对石漠化的发展和演化具有重大的影响(李森等, 2007; 白晓永等, 2009; 熊康宁等, 2012; Yan等, 2015)。但由于人类活动等驱动因素的定量化、空间化困难等原因,关于人类活动对石漠化的影响研究方面仍以定性的描述居多(蒋树芳等, 2004; 白晓永等, 2009; 熊康宁等, 2012)。近年来, Xu等(2013)、Xu等(2014)利用人类活动影响的标准化指数和地理探测器模型,分析和探讨了人文驱动因素与石漠化演变的关系,结果表明在小尺度上石漠化治理工程和不合理的土地利用方式是影响石漠化正向演替和逆向演替的重要因素;喀斯特特殊的地理特征是石漠化演替的基础,人类活动只有作用在喀斯特这种特殊的岩性、土壤和植被构成上才会产生显著效应,过多强调人类活动对石漠化的影响是存在误区的。该研究在定量化分析人类活动的影响方面取得了较好的进展。

近几十年来,国家和地方政府高度重视石漠化的生态恢复与治理工作,出台了一系列的石漠化治理工程如小流域治理、天然林保护、退耕还林等工程,喀斯特地区的石漠化问题得到了很大改善(Jiang et al, 2014; Yan et al, 2015),人类活动对石漠化的影响方式发生了复杂和深远的变化(Tong et al, 2017)。例如, Tong等(2017)利用长时间序列的遥感数据提取了石漠化地区人类活动引起的植被变化信息,并以此分析了各类石漠化治理工程对不同案例区石漠化恢复的贡献。但如何科学、合理地评估石漠化治理工程等人类活动对石漠化发展演化的影响仍有待于进一步深入研究。因此,本文选择贵州石漠化极其严重的关岭县为研究区,利用2010年SPOT5/ALOS数据、2015年的高分一号/资源三号数据等,采取实地调研和影像信息提取相结合的办法,获得了2010—2015年间石漠化状况和变化过程、变化因素等相关数据,在系统分析石漠化的空间分布及变化特征的基础上,着重分析土地利用类型、社会经济水平及石漠化治理工程等人类活动因素对石漠化过程的影响,以期对人类活动的影响进行正确的评估,从而为贵州省石漠化的生态治理提供科学的依据。

1 研究区概况

关岭县位于贵州省中部(约105.25°~105.82°E、

25.57°~26.08°N),座落于云贵高原东部脊状斜坡南侧向广西丘陵倾斜的斜坡地带(图1);以亚热带季风湿润气候为主,年平均气温为16.2℃,年降水量1205.1~1656.8 mm。总面积1468 km²,是一个典型的喀斯特景观区,岩溶地貌面积占总面积的83.83%,非岩溶地貌只占16.17%。境内森林覆盖率(包括有林地、灌木林、疏林和未成林,下同)只有22.46%,覆盖率极低。该县石漠化严重,2000、2005、2010、2015年轻度及以上石漠化土地面积分别占63%、55.8%、49.19%、45.43%,是中国西南部石漠化问题比较严重的地区之一。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

(1) 石漠化数据:2010年和2015年的石漠化数据根据高分辨率遥感影像,结合野外实地调查,通过目视解译获取。2010年的遥感影像为空间分辨率2.5 m的SPOT5/ALOS数据;2015年的遥感数据为高分一号、资源三号数据,融合后的分辨率为2 m。

(2) 土地利用数据:由于贵州省近年来的石漠化动态监测主要由林业部门来完成,为了保证分析结果的对比性,本文采用的2期土地利用数据也来源于贵州省关岭县的林业用地数据。该数据由林业部门定期调查和更新,其一级土地利用分类按照林地、耕地、草地、水域、未利用地和建设用地来划分,二级土地利用类型的分类系统如表1所示。

(3) 社会经济数据:本文使用的社会经济数据包括人口密度空间分布公里网格数据和国内生产总值(GDP)空间分布公里网格数据(徐新良, 2017a, 2017b),均下载自中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。其中,人口空间分布公里网格数据处理过程中,首先计算土地利用类型、夜间灯光亮度、居民点密度的人口分布权重,进而在对上述3方面影响权重标准化处理的基础上计算各县级行政单元的总权重;然后在计算各县级行政单元单位权重人口占比的基础上,运用栅格空间计算,把单位权重上的人口数与总权重分布图相结合,进行人口的空间化。同样地,GDP空间分布公里网格数据集是在分县GDP统计数据的基础上,综合分析了与人类活动密切相关的土地利用类型、夜间灯光亮度、居民点密度数据与GDP的空间互动规律,并分别建立三者与GDP的关系模型进而实现GDP的空间化。

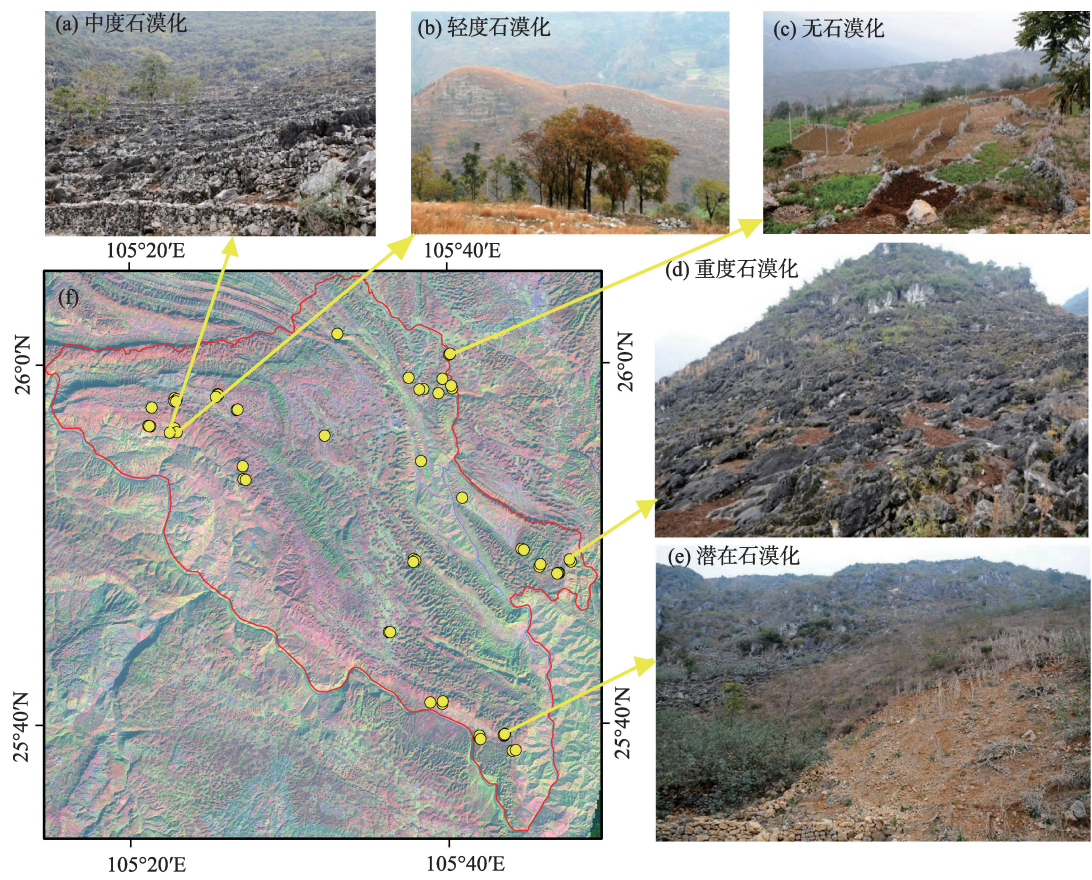


图1 研究区影像图及实地调查样点分布

Fig.1 The remote sensing image of Guanling County, Guizhou Province and the distribution of field survey samples

表1 关岭县林业用地的二级土地利用类型分类和代码

Tab.1 Classification of the second level forestry lands and codes in Guanling County, Guizhou Province

土地利用类型	代码	土地利用类型	代码
有林地	110	水田	211
疏林地	120	旱地	212
灌木林	130	天然草地	221
未成林造林地	140	改良草地	222
苗圃地	150	人工草地	223
无立木林地	160	水域	230
宜林地	170	荒草地	241
林业生产辅助用地	180	沙滩和干沟	242
建设用地	250	裸岩	243
		其他	244

(4) 石漠化治理工程数据:石漠化治理工程数据来自贵州省林业厅公布的各类石漠化治理与生态恢复工程,本文对其分布范围进行了数字化处理。

2.2 研究方法

(1) 石漠化分级

本文采用熊康宁等(2002)的石漠化分级标准,该标准主要依据基岩裸露、植被覆盖和土壤覆盖程度

进行石漠化分级(表2),将石漠化程度等级分为无石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化、重度石漠化和极重度石漠化等6级。该标准也被贵州省林业调查规划院等部门在进行石漠化监测时采用。

(2) 石漠化演化分级

为了进一步追踪石漠化的演化情况,根据2010年和2015年2期石漠化数据,在ArcGIS中利用空间叠加分析,判断石漠化程度的变化情况,并对石漠化演化进行分级。若2期石漠化程度没有变化,则石漠化演化类型为稳定型;如石漠化程度减轻,则为改善型;石漠化程度加重为加剧型。若石漠化减轻的程度为2个级别及以上(含2个级别),则为明显改善型;减轻1个级别为轻微改善型。同理,如果石漠化程度加重2个级别及以上(含2个级别),则划分为严重加剧型;加重1个级别为加剧型。因此,本文中石漠化演化共分为5种类型:轻微改善型、明显改善型、稳定型、加剧型、严重加剧型。

(3) 人类活动对石漠化的影响分析

本文通过空间分析方法,分别研究土地利用、社会经济与石漠化治理工程等对石漠化程度及石

表2 石漠化程度分级标准

Tab.2 Classification standard of karst rocky desertification

石漠化程度	无石漠化	潜在石漠化	轻度石漠化	中度石漠化	重度石漠化	极重度石漠化
基岩裸露率/%	<20	20~30	30~50	50~70	70~90	>90
植被与土壤覆盖度/%	>80	70~80	50~70	30~50	10~30	<10

漠化演化的影响。将人类活动因素与石漠化数据进行叠加,利用分区统计获取各类影响因素与石漠化程度和演化过程的相互关系。

3 研究结果

3.1 石漠化的空间分布特征

关岭县2010年和2015年石漠化分布格局如图2所示。2010年无石漠化土地面积约占总面积的33.28%,潜在石漠化土地面积占总面积的17.53%,石漠化土地面积则占总面积的49.19%;2015年无石漠化土地面积约占总面积的37.28%,潜在石漠化土地面积占总面积的17.29%,石漠化土地面积则占总面积的45.43%(表3)。由此可见,关岭县石漠化土地面积在减少,但仍占总土地面积的45%以上,其中,中度石漠化土地面积所占的比重最大(2015年占石漠化土地面积的50%以上);石漠化土地呈明显的连片分布,重度甚至极重度石漠化分布在关岭县南部的板贵乡一带,西北部的沙云乡、新铺乡和永宁镇、关索镇等地(图2)。

3.2 石漠化的变化规律

关岭县2010—2015年间石漠化土地面积减少了55 km²左右,尤其是重度石漠化和极重度石漠化

土地明显减少(分别减少55 km²和76 km²左右),无石漠化面积则增加了59 km²左右(表3)。从变化情况来看,大部分石漠化土地处于稳定状态,约有200.46 km²的石漠化土地得到改善或明显改善,其中有明显改善的石漠化土地主要是潜在石漠化、轻度石漠化和中度石漠化土地;轻微改善的石漠化土地主要是轻度、中度和重度石漠化土地(表4)。但仍有部分石漠化土地的状况在恶化,这类石漠化土地主要是中度、重度和极重度石漠化土地,面积约有36 km²(表3)。从空间上来看,明显改善和轻微改善的石漠化土地离散地分布于全县境内,但加剧恶化的石漠化土地则集中分布于关岭县的西北部,主要集中在岗乌镇—新铺乡—永宁镇一线的西部(图3)。

3.3 石漠化演化的人类活动驱动因素分析

(1) 土地利用类型对石漠化的影响

从2010年和2015年各级石漠化土地的土地利用类型来看(表5),灌木林地是各级石漠化分布比重最高的土地利用类型;其次为旱地和有林地;而重度和极重度石漠化则主要发生在旱地、天然草地和荒草地中。从各土地利用类型中石漠化演化的情况分析来看,灌木林和林地、天然草地这3种土地利用类型中,石漠化基本上都是正向演化的,石漠化有所改善或趋于稳定;而逆向演化的石漠化基本上

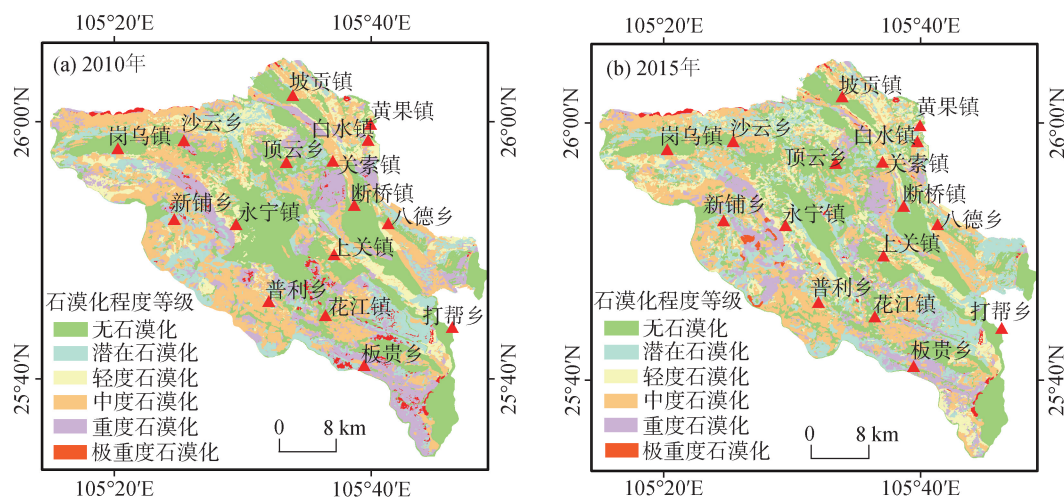


图2 关岭县2010、2015年石漠化空间分布

Fig.2 Spatial distribution of karst rocky desertification in Guanling County, Guizhou Province

表3 2010—2015 年关岭石漠化土地统计

Tab.3 Statistics of karst rocky desertification land in 2010 and 2015 in Guanling County, Guizhou Province (km²)

时间	无石漠化	潜在石漠化	石漠化					合计
			小计	轻度	中度	重度	极重度	
2010 年	488.618	257.285	722.097	125.101	318.892	197.692	80.412	1468
2015 年	547.282	253.849	666.869	150.269	368.957	142.814	4.829	1468
2010—2015 年	58.664	-3.436	-55.228	25.168	50.065	-54.878	-75.583	-

表4 关岭县 2015 年各级石漠化土地的演化类型统计

Tab.4 Statistics of karst rocky desertification change from 2010 to 2015 in Guanling County, Guizhou Province (km²)

石漠化演化类型	潜在石漠化	轻度石漠化	中度石漠化	重度石漠化	极重度石漠化	总计
明显改善型	73.46	21.96	2.77	0	0	98.20
轻微改善型	0	31.64	61.03	9.59	0	102.26
稳定型	180.38	96.31	292.43	113.94	0.71	683.78
加剧型	0	0	7.91	14.74	0.02	22.67
严重加剧型	0	0.35	4.81	4.55	4.09	13.80
合计						920.72

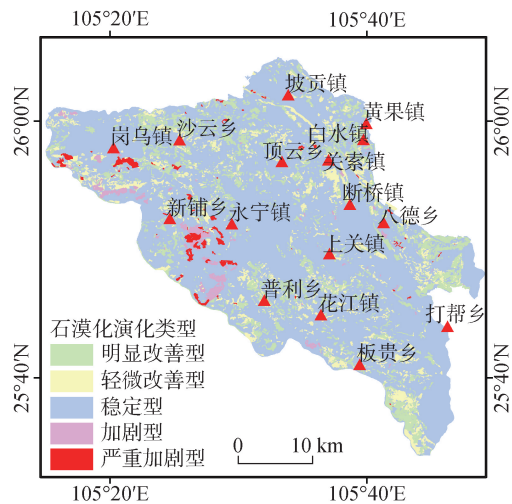


图3 2010—2015 年关岭县石漠化演化类型空间分布

Fig.3 Spatial distribution of karst rocky desertification change in Guanling County, Guizhou Province, 2010—2015

都分布在荒草地中(表6)。

一方面,从关岭县的土地利用结构与组成来看,灌木林地、有林地、旱地分布面积最大,是占全县土地面积比重最大的3类土地利用类型;其次为水田、天然草地和荒草地(图4、表7),因此各级石漠化的演化也主要发生在这几类土地利用类型中。另一方面,关岭县从地貌上来讲是喀斯特低山丘陵区,可利用的土地资源稀少,有林地是人类活动较少干预的一类土地利用类型;灌木林地是极易被砍伐破坏、引起土地退化的一种土地利用类型;同时,在喀斯特退化土地的生态恢复与演替过程中,灌木

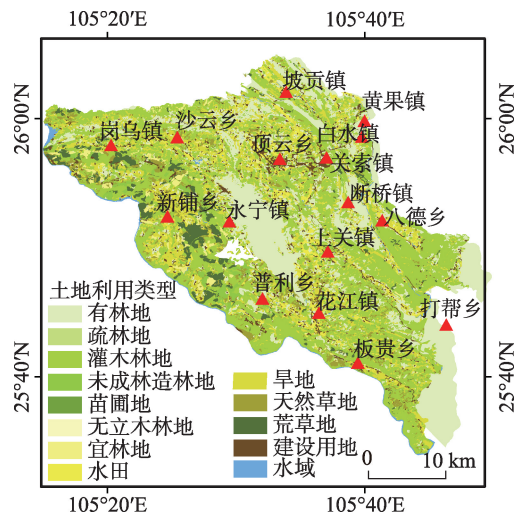


图4 2015 年关岭县土地利用

Fig.4 Land use of Guangling County, Guizhou Province, 2015

林地也是从顶级破坏的裸土(岩)地或荒草地向有林地演化的中间环节,这也是该县灌木林地中各级石漠化比重最高的原因。旱地则是另一类需要关注的、极易引起土地退化的土地利用类型,2015 年旱地中发生各级石漠化的土地面积约 175 km²(包括潜在石漠化约 28 km²,表5),其中正向演化(明显改善型和轻重改善型)的石漠化土地类型只有 10 km²左右(表6),这一现象表明虽然大部分旱地的石漠化状况都保持稳定,但石漠化程度和治理恢复工作仍很严峻。有林地中虽然石漠化土地面积也占有较大的比重,但如果剔除潜在石漠化土地,实际发生的

表5 2010、2015年关岭县各级石漠化土地的土地利用类型

Tab.5 Statistics of land-use types of karst rocky desertification in Guanling County, Guizhou Province, 2010 and 2015 (km²)

土地利用类型	潜在石漠化		轻度石漠化		中度石漠化		重度石漠化		极重度石漠化		总计	
	2010年	2015年	2010年	2015年	2010年	2015年	2010年	2015年	2010年	2015年	2010年	2015年
有林地	47.68	55.89	31.64	24.00	22.59	21.98	12.25	7.53			114.16	109.40
疏林地	0		1.11	0	0.63	0.18	0.05	0			1.79	0.18
灌木林	128.39	164.86	65.14	88.00	166.44	187.53	51.56	53.21			411.53	493.60
未成林造林地	0		9.77	11.00	44.04	10.87	15.49	4.86			69.3	26.73
无立木林地	0		0.07	0	0.59	0.05	0.31	0.03			0.97	0.08
宜林地	0		10.92	4.00	26.09	8.81	29.55	7.39	0.40		66.96	20.20
旱地	33.53	27.90	17.36	16.00	115.94	104.22	42.78	27.41	0.35	0.31	209.96	175.84
天然草地	4.83	5.19		5.00	0.69	22.16	47.13	18.46	15.84	0.42	68.49	51.23
荒草地		0		2.00	0.08	13.15	18.00	23.92		4.09	18.08	43.16

表6 2015年各土地利用类型中石漠化演化情况统计

Tab.6 Statistics of land-use types of karst rocky desertification change in Guanling County, Guizhou Province, 2015 (km²)

土地利用类型	明显改善型	轻微改善型	稳定型	加剧型	严重加剧型
有林地	19.43	6.34	83.56		
疏林地		0.24	0.38		0.03
灌木林	68.55	47.05	372.83	4.83	0
未成林造林地	0.61	7.95	17.64	0	0.57
无立木林地		0.03	0.08	0	0
宜林地	0.05	2.20	17.11	0.85	0
旱地	2.95	7.63	163.76	1.45	0
天然草地	6.53	28.94	15.48	0	0
荒草地	0.08	1.88	12.95	15.54	13.20
合计	98.20	102.26	683.78	22.67	13.80

表7 关岭县土地利用结构统计

Tab.7 Statistics of land-use structures

土地利用类型	面积/km ²	比重/%	土地利用类型	面积/km ²	比重/%
有林地	335.87	22.88	水田	71.36	4.86
疏林地	0.90	0.06	旱地	273.64	18.64
灌木林	575.35	39.19	天然草地	52.39	3.57
未成林造林地	28.88	1.97	荒草地	50.77	3.46
苗圃地	0.01	0	建设用地	43.95	2.99
无立木林地	0.14	0.01	水域	12.15	0.83
宜林地	22.59	1.54	总计	1468.00	100.00

石漠化土地面积要小于各类草地的。重度和极重度石漠化土地的土地利用类型基本上为天然草地和荒草地,也体现了喀斯特土地终极退化的过程。由此可见,林、灌、草对石漠化的演化起着重要的作用,旱地中石漠化的治理与恢复仍然很缓慢且效果不明显。

(2) 石漠化治理工程对石漠化演化的影响
自2005年以来,关岭县开展并落实了一系列的

石漠化综合治理、退耕还林还草及植被恢复营造林工程等(图5),至2015年这些工程治理总面积达295 km²,治理面积占全县总面积的1/5左右;治理效果非常明显,明显改善和轻微改善的石漠化土地面积均分别达40 km²左右(表8),并且通过上述各项治理工程使石漠化得到改善并趋于稳定的石漠化土地面积占全部改善并趋于稳定石漠化土地面积的33.33%(表6、表8)。其中,治理效果最明显的工程

表 8 2015 年关岭县各类石漠化治理工程、土地利用类型及治理效果综合统计

Tab.8 Statistics of the area and effect of restoration projects for karst rocky desertification in Guanling County, Guizhou Province

						(km ²)					
工程类型/ 起始时间	土地利用 类型	明显 改善型	轻微 改善型	稳定型	治理 面积	工程类型/ 起始时间	土地利用 类型	明显 改善型	轻微 改善型	稳定型	治理 面积
植被恢复营造 林工程/2006 年	有林地	3.21	0.89	11.11	15.21	湿地保护与恢 复工程/2008 年	有林地	1.06	0.68	1.69	3.43
	疏林地	0	0.03	0.11	0.14		疏林地	0	0	0.08	0.08
	灌木林	12.45	7.81	45.79	66.05		灌木林	2.36	1.66	13.08	17.10
	未成林	0.01	1.38	9.61	11.01		未成林	0.29	1.13	1.12	2.54
	造林地						造林地				
	宜林地	0	0.05	0	0.05		天然草地	0.22	0.10	0	0.32
其他重点工 程/2007 年	小计	15.67	10.16	66.62	92.45	长江珠江防 护林工程/ 2006 年	荒草地	0	0.28	0	0.28
	有林地	1.59	0.17	4.76	6.53		小计	3.94	3.85	15.96	23.75
	灌木林	5.03	1.81	31.72	38.56		有林地	0.24	0.06	0.56	0.86
	未成林	0	0.02	0.75	0.76		疏林地	0	0	0.02	0.02
	造林地						灌木林	1.55	2.64	13.43	17.62
	荒草地	0	0.12	0	0.12		未成林	0	0.87	0.17	1.04
财政造林补助 工程/2006 年	小计	6.62	2.12	37.22	45.96	中幼林抚育工 程/2012 年	造林地				
	有林地	0.90	0.24	1.83	2.97		天然草地	0	0.09	0	0.09
	疏林地	0	0	0.02	0.02		小计	1.79	3.66	14.18	19.64
	灌木林	1.32	4.51	16.68	22.51		有林地	0.16	0.13	0.26	0.54
	未成林	0.12	3.83	5.94	9.89		灌木林	0.61	1.74	5.39	7.75
	造林地						未成林	0	0	0.05	0.05
石漠化综合治 理工程/2008 年	小计	2.34	8.58	24.46	35.39	中央预算内油 茶产业专项工 程/2013 年	造林地				
	有林地	1.74	0.39	3.44	5.57		小计	0.77	1.87	5.70	8.34
	疏林地	0	0	0.03	0.03		有林地	0.07	0	0.01	0.08
	灌木林	2.25	2.65	21.24	26.14		灌木林	0.16	0.49	0.86	1.51
	未成林	0.08	0.04	1.63	1.76		未成林	0	0.10	0.07	0.16
	造林地						造林地				
退耕还林还草 工程/2006 年	天然草地	1.05	0.78	0.00	1.83	天然林资源保 护工程/2005 年	小计	0.23	0.59	0.93	1.75
	小计	5.12	3.86	26.33	35.31		灌木林	0.36	0.55	0	0.92
	有林地	0.60	0.32	1.92	2.84		荒草地	0	0.08	0	0.08
	疏林地	0	0	0.01	0.01		小计	0.36	0.63	0	1.00
	灌木林	3.32	2.28	18.88	24.49		有林地	0.06	0.09	0.01	0.16
	未成林	0.14	0.57	0.35	1.07	生态公益林保 护工程/2008 年	疏林地	0	0.02	0	0.02
国家储备林基 地建设工程/ 2009 年	造林地						灌木林	0.07	0.14	0.41	0.62
	天然草地	0.08	0.96	0.15	1.20		小计	0.12	0.25	0.42	0.80
	小计	4.15	4.13	21.32	29.60		天然草地	0.51	0.14		0.66
	有林地	0.06	0	0	0.06	小流域综合治 理工程/2014 年					
	灌木林	0.04	0.02	0	0.06		小计	0.51	0.14		0.66
	小计	0.10	0.02	0	0.11	治理面积总计					294.75

类型分别为植被恢复营造林工程、其他重点工程、财政造林补助工程、石漠化综合治理工程以及退耕还林还草工程。从石漠化治理工程与土地利用类型的综合分析来看,各项治理工程中灌木林地是石漠化正向演化的主要土地利用类型,其次为有林地(表8)。

(3) 社会经济水平对石漠化演化的影响

从石漠化程度与GDP、人口密度的分析关系来看(图6a),随着人口密度和GDP升高,石漠化程度加剧,但极重度石漠化地区的GDP和人口密度却比中度和重度石漠化的低。这一结果表明人口密度较大、GDP较高的地区,石漠化程度也较高;但极重度石漠化的区域因其土地承载力低,人口密度和GDP也相对较低。人类活动和石漠化程度互相影响、互相制约。

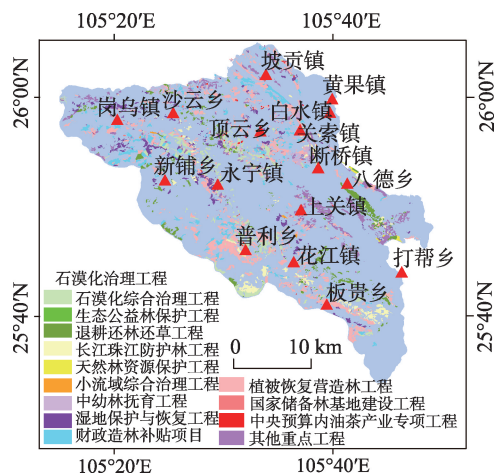


图5 关岭县2015年各类石漠化治理措施分布

Fig.5 Distribution of restoration projects for karst rocky desertification in Guanling County, Guizhou Province, 2015

为了进一步研究人类活动对石漠化演化的影响,本文分析了各种石漠化演化类型与人口密度和GDP的相关关系(图6b)。结果表明:石漠化演化类型为加剧型和严重加剧型的地区人口密度较大、GDP较高,而明显改善型的地区人口密度相对较小、GDP相对较低,表明人口密度越大、GDP越高的地区石漠化治理与恢复的效果越差,即人口压力仍是石漠化演化的重要制约因素。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 贵州关岭县石漠化土地仍占很大比重(2015年占总土地面积的45%以上),其中中度石漠化土地所占的比重最大(2015年占石漠化土地的55%以上)。

(2) 贵州关岭县的石漠化总体上得到明显改善,2010—2015年5 a间的石漠化土地面积减少了55 km²左右,大部分石漠化土地处于稳定状态,重度石漠化和极重度石漠化土地明显减少(2010—2015年5 a间分别减少55 km²和76 km²左右),但仍有部分地区的石漠化状况在恶化。从空间上来看,加剧恶化的石漠化土地则集中分布于关岭县的西北部。

(3) 人类活动对石漠化有重要影响。首先,土地利用类型尤其是灌木林、旱地和有林地这3种土地利用类型对石漠化程度和石漠化演化影响较大,表现为各级石漠化土地主要分布在灌木林和旱地这2种土地利用类型中;保持稳定或得到改善的石漠化土地主要分布在灌木林、旱地和有林地这3种土地利用类型中。其次,社会经济条件对石漠化具

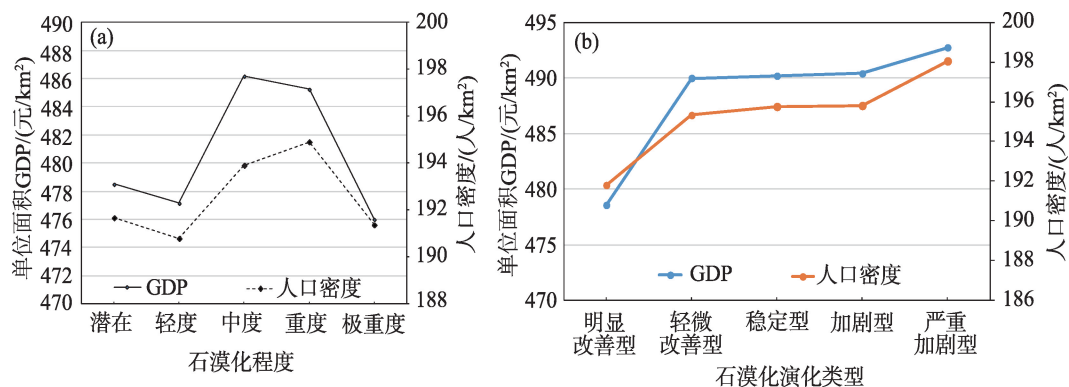


图6 2015年石漠化强度、石漠化演化类型与GDP、人口密度相关分析

Fig.6 Relationship between karst rocky desertification (KRD) and GDP and population density in Guanling County, Guizhou Province, 2015

有重要的影响作用,人口密度较大和GDP较高的地区,石漠化程度也较高且石漠化恢复治理的效果越不明显。另外,贵州关岭县的石漠化治理工程取得了显著的成果,通过治理得到改善或保持稳定状态的石漠化土地面积占全部改善或稳定石漠化面积的1/3左右。

4.2 讨论

(1) 石漠化长时间序列研究仍然进展缓慢,本文未能在较长、连续的时间段内追踪石漠化的时空演化过程和驱动机制。一方面,由于数据源的限制,2010年以前的石漠化数据多是在TM/ETM等遥感数据的基础上、结合野外调查获得,其分辨率和精度与2010年及以后在高分遥感影像(ALOS、SPOT5、高分一号/资源三号等)支持下获得的石漠化数据的分辨率和精度上有很大的差异,对比研究的结果具有一定的不确定性;另一方面,现有的研究主要关注石漠化的变化情况,而对变化的过程不够重视。然而,只有从石漠化的过程入手,更深层次地把握石漠化演化的过程与机制,才能更有效地开展石漠化的治理与生态恢复工作(李阳兵等, 2013; 姚永慧, 2014; 侯文娟等, 2016)。另外,也需要有新方法来深入分析石漠化过程与成因之间的关系,简单的空间分析方法不利于深度挖掘二者之间的定量关系。

(2) 在人类活动对石漠化的影响研究方面,也需要长时间跟踪并分阶段讨论,过度强调人类活动对石漠化的负面影响有失偏颇。首先,石漠化是在喀斯特地质地貌基础上发育起来的,有些地区没有人类活动的影响,仍然为石漠化严重的地区,即在分析石漠化时需要区分自然石漠化与人为石漠化。其次,从中国经济发展的阶段来看,不同时期人类活动对石漠化影响的强度和方式是不同的。已有的研究表明,1980年以前人类活动对石漠化的影响强度与1980年以后相比有显著的不同(李森等, 2007; 苗建青等, 2012); 1995年国家实施生态退耕、加大环境保护力度以后,人类活动对石漠化的影响也与此前有很大区别,因此1986年以前和2000年以后的这2个时段也是研究石漠化过程和成因不可忽视的2个重要阶段。另外,在分析人类活动的影响时,需要更高精度的人口分布、GDP等社会经济数据。本文中采用的GDP和人口密度数据均为公里网格的数据,分辨率相对较低,因此分析结果也不够深入,有待进一步研究。

参考文献(References)

- 白晓永, 王世杰, 陈起伟, 等. 2009. 贵州土地石漠化类型时空演变过程及其评价 [J]. 地理学报, 64(5): 609-618. [Bai X Y, Wang S J, Chen Q W, et al. 2009. Evaluation and the process of rocky desertification in Guizhou. *Acta Geographica Sinica*, 64(5): 609-618.]
- 侯文娟, 高江波, 彭韬, 等. 2016. 结构-功能-生境框架下的西南喀斯特生态系统脆弱性研究进展 [J]. 地理科学进展, 35(3): 320-330. [Hou W J, Gao J B, Peng T, et al. 2016. Review of ecosystem vulnerability studies in the karst region of Southwest China based on a structure-function-habitat framework. *Progress in Geography*, 35(3): 320-330.]
- 胡宝清, 严志强, 廖赤眉. 2006. 基于GIS的喀斯特土地退化灾害风险评价: 以广西都安瑶族自治县为例 [J]. 自然灾害学报, 15(4): 100-106. [Hu B Q, Yan Z Q, Liao C M. 2006. Evaluation of disaster risk of Karst land degradation based on GIS in Du'an Yao Autonomous County of Guangxi. *Journal of Natural Disasters*, 15(4): 100-106.]
- 蒋树芳, 胡宝清, 黄秋燕, 等. 2004. 广西都安喀斯特石漠化的分布特征及其与岩性的空间相关性 [J]. 大地构造与成矿学, 28(2): 214-219. [Jiang S F, Hu B Q, Huang Q Y, et al. 2004. Spatial distribution characteristics of Karst rocky desertification and spatial correlation analysis between them and lithology in Du'an of Guangxi. *Tectonics and Metallogeny*, 28(2): 214-219.]
- 李森, 魏兴琥, 黄金国, 等. 2007. 中国南方岩溶区土地石漠化的成因与过程 [J]. 中国沙漠, 27(6): 918-926. [Li S, Wei X H, Huang J G, et al. 2007. Cause and process of the karst rocky desertification of South China. *Journal of Desert Research*, 27(6): 918-926.]
- 李阳兵, 侯建筠, 谢德体. 2002. 中国西南岩溶生态研究进展 [J]. 地理科学, 22(3): 365-371. [Li Y B, Hou J J, Xie D T. 2002. Karst ecological research progress in Southwest China. *Scientia Geographica Sinica*, 22(3): 365-371.]
- 李阳兵, 罗光杰, 程安云, 等. 2013. 黔中高原面石漠化演变典型案例研究: 以普定后寨河地区为例 [J]. 地理研究, 32(5): 828-838. [Li Y B, Luo G J, Cheng A Y, et al. 2013. A typical case study on evolution of karst rocky desertification in Houzhaihe, Puding County, central Guizhou Province, China. *Geographical Research*, 32(5): 828-838.]
- 卢耀如. 2003. 地质-生态环境与可持续发展: 中国西南及邻近岩溶地区发展途径 [M]. 南京: 河海大学出版社. [Lu Y R. 2003. *Geology-ecological environment and sustainable development: Development approaches for karst region in Southwest China and the neighboring areas*. Nanjing, China: Hohai University Press.]
- 苗建青, 谢世友, 袁道先, 等. 2012. 基于农户-生态经济模型

- 的耕地石漠化人文成因研究: 以重庆市南川区为例 [J]. 地理研究, 31(6): 967-980. [Miao J Q, Xie S Y, Yuan D X, et al. 2012. An application of bio-economic household model to analysis of the cause for karst rock desertification in Southwest China. *Geographical Research*, 31(6): 967-980.]
- 王兮之, 李森, 王金华. 2007. 粤北典型岩溶山区土地石漠化景观格局动态分析 [J]. 中国沙漠, 27(5): 758-764. [Wang X Z, Li S, Wang J H. 2007. Analysis of dynamic landscape pattern of karst rocky desertification in the north of Guangdong. *Journal of Desert Research*, 27(5): 758-764.]
- 魏兴琥, 李森, 罗红波, 等. 2008. 粤北石漠化过程土壤与植被变化及其相关性研究 [J]. 地理科学, 28(5): 662-666. [Wei X H, Li S, Luo H B, et al. 2008. Study on the changes of soil and vegetation and their correlation on the process of rocky desertification in north of Guangdong. *Scientia Geographica Sinica*, 28(5): 662-666.]
- 吴秀芹, 蔡运龙. 2006. 我国亚热带喀斯特生态环境演变研究进展 [J]. 自然科学进展, 16(3): 267-272. [Wu X Q, Cai Y L. 2006. Progress for evolution of subtropical karst environment in China. *Progress in Natural Science*, 16(3): 267-272.]
- 熊康宁, 黎平, 周忠发, 等. 2002. 喀斯特石漠化的遥感-GIS典型研究: 以贵州省为例 [M]. 北京: 地质出版社. [Xiong K N, Li P, Zhou Z F, et al. 2002. Study on rocky desertification based on remote sensing and GIS: A case of Guizhou. Beijing, China: Geological Publishing House.]
- 熊康宁, 李晋, 龙明忠. 2012. 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, 67(7): 878-888. [Xiong K N, Li J, Long M Z. 2012. Features of soil and water loss and key issues in demonstration areas for combating Karst rocky desertification. *Acta Geographica Sinica*, 67(7): 878-888.]
- 徐新良. 2017a. 中国 GDP 空间分布公里网格数据集 [DB/OL]. 中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统. <http://www.resdc.cn/DOI>. doi: 10.12078/2017121102. [Xu X L. 2017b. The kilometer-grid spatial distribution dataset of China's GDP. Data registration And Publishing System of Resource and Environmental Science Data Center, Chinese Academy of Sciences (<http://www.resdc.cn/DOI>). doi:10.12078/2017121102.]
- 徐新良. 2017b. 中国人口空间分布公里网格数据集 [DB/OL]. 中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统. <http://www.resdc.cn/DOI>. doi: 10.12078/2017121101. [Xu X L. 2017a. The kilometer-grid spatial distribution dataset of China's population. Data Registration And Publishing System of Resource and Environmental Science Data Center, Chinese Academy of Sciences (<http://www.resdc.cn/DOI>). doi: 10.12078/2017121101.]
- 姚永慧. 2014. 中国西南喀斯特石漠化研究进展与展望 [J]. 地理科学进展, 33(1): 76-84. [Yao Y H. 2014. Progress and prospect of Karst rocky desertification research in Southwest China. *Progress in Geography*, 33(1): 76-84.]
- Jiang Z C, Lian Y Q, Qin X Q. 2014. Rocky desertification in Southwest China: Impacts, causes, and restoration [J]. *Earth-Science Reviews*, 132: 1-12.
- Li C, Xiong K N, Wu G M. 2013. Process of biodiversity research of Karst areas in China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 33(4): 192-200.
- Tang J, Tang X X, Qin Y M, et al. 2018. Karst rocky desertification progress: Soil calcium as a possible driving force [J]. *Science of the Total Environment*, 649: 1250-1259.
- Tong X W, Wang K L, Yue Y M, et al. 2017. Quantifying the effectiveness of ecological restoration projects on long-term vegetation dynamics in the karst regions of Southwest China [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 54: 105-113.
- Xu E Q, Zhang H Q. 2014. Characterization and interaction of driving factors in karst rocky desertification: A case study from Changshun, China [J]. *Solid Earth*, 5(2): 1329-1340.
- Xu E Q, Zhang H Q, Li M X. 2013. Mining spatial information to investigate the evolution of karst rocky desertification and its human driving forces in Changshun, China [J]. *Science of the Total Environment*, 458-460: 419-426.
- Yan X, Cai Y L. 2015. Multi-scale anthropogenic driving forces of karst rocky desertification in Southwest China [J]. *Land Degradation & Development*, 26(2): 193-200.

Spatiotemporal characteristics of karst rocky desertification and the impact of human activities from 2010 to 2015 in Guanling County, Guizhou Province

YAO Yonghui¹, SUONAN Dongzhu^{1,2}, ZHANG Junyao^{1,2}, HU Yufan^{1,2}, KOU Zhixiang^{1,2}

(1. State key Laboratory of Resources and Environment Information System, Institute of
Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Karst rocky desertification (KRD) is one of the most important environmental problems in the karst area of Southwest China. Studies of KRD process and its driving mechanism have been the hot spots in the related research fields and particularly, the impact of human activities on KRD remains to be further studied. In this study, Guanling County of Guizhou Province, where KRD is extremely serious, was selected as the research area. Using SPOT5/ALOS data in 2010, GF-1/ZY-3 data in 2015, and information from field investigations, the KRD spatial distribution and KRD change data were obtained by visual interpretation. Based on the examination of the spatiotemporal change characteristics of KRD, the impact of human activities such as land use, socioeconomic development level, and KRD restoration projects were analyzed. The results of this study show that: 1) The KRD land in Guanling County is dominated by moderate KRD, and it occupies more than 45% of the total land area in 2015. 2) The deteriorating trend of KRD in Guanling County has been effectively controlled. The area of KRD land is decreasing year by year, and most of the KRD land is in a stable state, especially that the severe KRD land and the extremely severe KRD land are clearly reduced, but some of the KRD land is still deteriorating. 3) Human activities play important roles on KRD change. First, land use types, especially shrub forest land, non-irrigated farmland, and forestry land have important influences on the change of KRD. Second, the higher the population density and GDP, the higher the degree of KRD and the less the effect of restoration. The KRD restoration projects in Guanling County have made remarkable achievements, where about one-third of the stable and improved KRD lands were a result of these restoration projects.

Keywords: karst; karst rocky desertification (KRD); spatial pattern; evolution process; driving mechanism; Guizhou Province