

DOI: 10.5846/stxb201809021872

李阳兵, 李珊珊, 徐倩, 罗光杰. 西南岩溶山地石漠化近 50 年演变-基于 5 个地点的案例研究. 生态学报, 2019, 39(22): - .

Li Y B, Li S S, Xu Q, Luo G J. The evolution of karst rocky desertification for nearly 50 years in karst mountain, Southwest China based on five cases study. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(22): - .

## 西南岩溶山地石漠化近 50 年演变-基于 5 个地点的案例研究

李阳兵<sup>1,\*</sup>, 李珊珊<sup>1</sup>, 徐倩<sup>1</sup>, 罗光杰<sup>2</sup>

1 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001

2 贵州师范学院贵州省流域地理国情监测重点实验室, 贵阳 550018

**摘要:**探讨岩溶山地长期以来的石漠化变化趋势,对于理解岩溶山地人地关系演变和石漠化的进一步治理具有重要意义。基于此目的,本文选择了贵州省 5 个典型岩溶山地区域,基于高分辨率遥感影像和实地调查,对其近 50 年期间岩溶石漠化的变化趋势进行了实证研究。结果表明:(1)石漠化面积、石漠化综合指数与石漠化面积比重、石漠化变化的幅度和动态度等表明,从 1963 年到 2015 年,石漠化演变经历了由增到减的转型,各研究区石漠化变化存在 1980 年代和 2004 年两个明显的转折点;(2)2010 年以后,强度石漠化成为主要的变化类型,明显下降;(3)5 个研究区因自然条件和社会经济背景不同,分别形成不同的石漠化演变模式,体现出石漠化演变在不同时段和不同地域的多样性;(4)石漠化转型演变与退耕还林政策和石漠化治理工程有关。研究结果为阐明中国西南岩溶山地石漠化长期演变趋势提供了参考。

**关键词:**岩溶山地;石漠化;演变;转型

## The evolution of karst rocky desertification for nearly 50 years in karst mountain, Southwest China based on five cases study

LI Yangbing<sup>1,\*</sup>, LI Shanshan<sup>1</sup>, XU Qian<sup>1</sup>, LUO Guangjie<sup>2</sup>

1 School of Geography and Environmental Sciences, Guizhou Normal university, Guiyang 550001, China

2 Guizhou Provincial Key Laboratory of Geographic State Monitoring of Watershed, Guizhou Education University, Guiyang 550018, China

**Abstract:** It is of great significance to probe the long-term change of karst rocky desertification (KRD) for understanding the evolution of human-land relationship and KRD control in karst mountain. The objective of our study was to conduct an empirical study on the KRD change during the lastest 50 years by use of high resolution remote sensing images and field investigation in five typical karst mountain regions in Guizhou Province. The results show as follows: (1) the KRD area, the KRD comprehensive index, the area proportion of changed KRD, the changing amplitude, and dynamic degree of KRD indicated that the KRD evolution has experienced a transformation from increase to decrease from 1963 to 2015, and the change of KRD in the study area had two obvious turning point in 1980s and 2004. (2) After 2010, the severe KRD change became a major type, and the severe KRD declined significantly. (3) Due to different natural and social economic conditions, five study areas formed different KRD evolution patterns, reflecting the diversity of the KRD evolution in different times and different regions. (4) The transformation of KRD evolution related with the policy of grain to green and the control engineering of KRD. The results provide the reference to clarify long-term KRD evolution trend of karst mountain in southwestern China.

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0502300);国家自然科学基金项目(41661020)

收稿日期:2018-09-02; 网络出版日期:2019-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: li-yapin@sohu.com

**Key Words:** karst mountain; karst rocky desertification; evolving; transition

岩溶石漠化是涉及严重土壤侵蚀、基岩高度裸露、土壤生产力大幅度下降和呈现类荒漠景观的土地退化过程<sup>[1-2]</sup>。已有研究认为,石漠化极敏感区集中分布在贵州西部与南部、广西西部、云南东北部、四川西南部等<sup>[3]</sup>,自然环境因素和人为因素综合作用<sup>[4,5]</sup>,连续性碳酸盐岩的低成土速率<sup>[6]</sup>、人口急剧增长、生态观念单薄、发展政策偏差等是加剧石漠化过程的重要因素<sup>[7]</sup>;人类活动叠加在岩溶地区特殊的岩性、土壤和植被组合上,显著影响石漠化分布<sup>[8]</sup>,因此,石漠化与居民点分布、人口密度、坡耕地和人口贫困关系密切<sup>[9]</sup>,在清朝中期后人为因素对石漠化的作用比重逐渐超过了自然因素的作用比重<sup>[10]</sup>。

对西南岩溶区来说,从 1999 年到 2008 年间,石漠化已经呈现转轻趋势<sup>[11]</sup>,由 21 世纪以前的加剧变化为 21 世纪的逐渐减缓,石漠化趋势得到有效遏制,重度石漠化面积比例由 38.08% 降至 15.31%<sup>[12]</sup>。贵州石漠化在 20 世纪 90 年代末达到最大值<sup>[13]</sup>;或者认为因生态治理石漠化的扩张整体上得到控制,石漠化土地面积已实现由持续增加向“净减少”的重大转变<sup>[14]</sup>。但是因研究时段和地域空间的差异,关于石漠化演变的认识并不完全统一。如有研究者认为从 2000 年到 2005 年,广西的石漠化仍在增加,尤其是强度石漠化比例上升明显<sup>[15]</sup>;贵州石漠化在 2000—2005 年期间面积也仍在增长,只是增长幅度变小<sup>[16]</sup>;铜仁地区的石漠化在 2000—2006 年面积明显增加,2008 年开始保持低位稳定<sup>[17]</sup>。还有研究者认为贵州中部石漠化从 1974 年至 2001 年,年均增加 116.2 km<sup>2</sup>/年<sup>[18]</sup>,或者认为石漠化正向演变与逆向演变并存,又出现了新的石漠化<sup>[19]</sup>。

综上所述,对石漠化的形成原因已有充分的、深入的认识,但对其演变过程和阶段仍缺乏基于长时间序列和高精度影像的实证比较研究,因此,对石漠化的演变趋势未能做出有说服力的判断,对石漠化未来演变趋势亦缺乏有说服力的预测,这样的情况会可能进一步影响到石漠化治理模式的选择。近 50 年来,中国社会经济发生了巨大的变化,为准确回答近 50 年来在中国社会经济背景变化下的西南岩溶山地石漠化演变趋势和演变阶段,本文选择了贵州省 5 个典型岩溶山地区域,基于高分辨航片、卫星影像和实地调查访问,探讨了这 5 个地点在近 50 年期间岩溶石漠化的变化趋势,以回答西南岩溶山地石漠化的长期演变趋势是否存在转型演变? 演变的多样性? 以及石漠化演变的主要类型和空间格局特征,尤其是在近年来社会经济背景多重变化下的演变趋向等科学问题,以为岩溶山地乡村振兴、人地关系调控和土地利用优化提供参考。

## 1 研究区概况

在贵州典型岩溶区域选择了四周平坝环绕型峰丛洼地群区-普定县后寨河地区、开口型峰丛洼地-清镇市王家寨地区、连续性峰丛洼地、谷地-荔波茂兰自然保护区及其外围、岩溶峰丛洼地-峡谷型贞丰花江峡谷区和岩溶槽谷等不同的地貌、土地资源组合格局区域作为研究对象(图 1)。5 个研究区的面积分布为 62.72km<sup>2</sup>、20.86 km<sup>2</sup>、148.62 km<sup>2</sup>、114.39 km<sup>2</sup>。其中,朗溪槽谷位于黔东北印江内,为一典型的向斜槽谷,地势起伏大,垂直高差 900 余米<sup>[20]</sup>。其余 4 个研究区的详细情况见文献<sup>[21-22]</sup>。后寨河地区自然社会经济状况在岩溶山区具有普遍性,代表一般水平;王家寨地处贵阳市清镇市境内西部簸箕村等,其社会经济发展受城市辐射作用大;

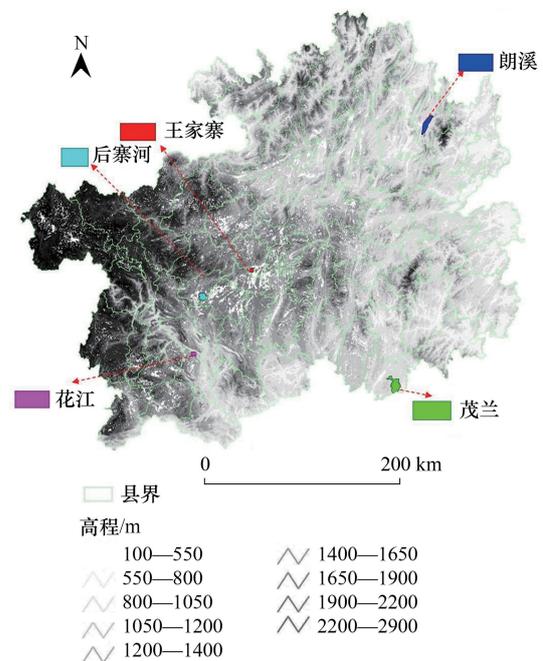


图 1 研究区空间分布

Fig.1 The spatial distribution of the study area

茂兰地区位于贵州省荔波县境内,其西南部是世界自然遗产地—岩溶原始森林核心区;花江地区位于黔西南关岭和贞丰交界的北盘江峡谷南坡,区内石漠化程度严重。5 个研究区基本涵盖了我国西南岩溶地区主要自然和社会经济背景类型,是我国西南岩溶山地的典型区域。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

本文收集了 5 个研究点较长时期的高清遥感影像和地形图(表 1),并以此作为提取研究区不同时期聚落的基本数据源(图 2)。

表 1 研究区不同时期聚落数据源

Table 1 The data sources of rural settlement in the study area

研究地点 Study area	Year					
	1963 年	1980 年代	1990 年	2004 年	2010 年	2015 年
王家寨	航片 (分辨率 2.5m)	航片 (分辨率 2.5m)	航片 (分辨率 2.5m)	SPOT 影像 (分辨率 2.5m)	ALOS 影像 (分辨率 2.5m)	资源卫星高分影像 (分辨率 2.5m)
花江、朗溪	航片 (分辨率 2.5m)	航片, 1 比 1 万地形图	航片, 1 比 1 万地形图	SPOT 影像 (分辨率 2.5m)	ALOS 影像 (分辨率 2.5m)	资源卫星高分影像 (分辨率 2.5m)
后寨河	航片 (分辨率 2.5m)	航片 (分辨率 2.5m)	航片 (分辨率 2.5m)	SPOT 影像 (分辨率 2.5m)	ALOS 影像 (分辨率 2.5m)	资源卫星高分影像 (分辨率 2.5m)
茂兰	航片 (分辨率 2.5m)	航片 (分辨率 2.5m)	航片 (分辨率 2.5m)	SPOT 影像 (分辨率 2.5m)	ALOS 影像 (分辨率 2.5m)	资源卫星高分影像 (分辨率 2.5m)

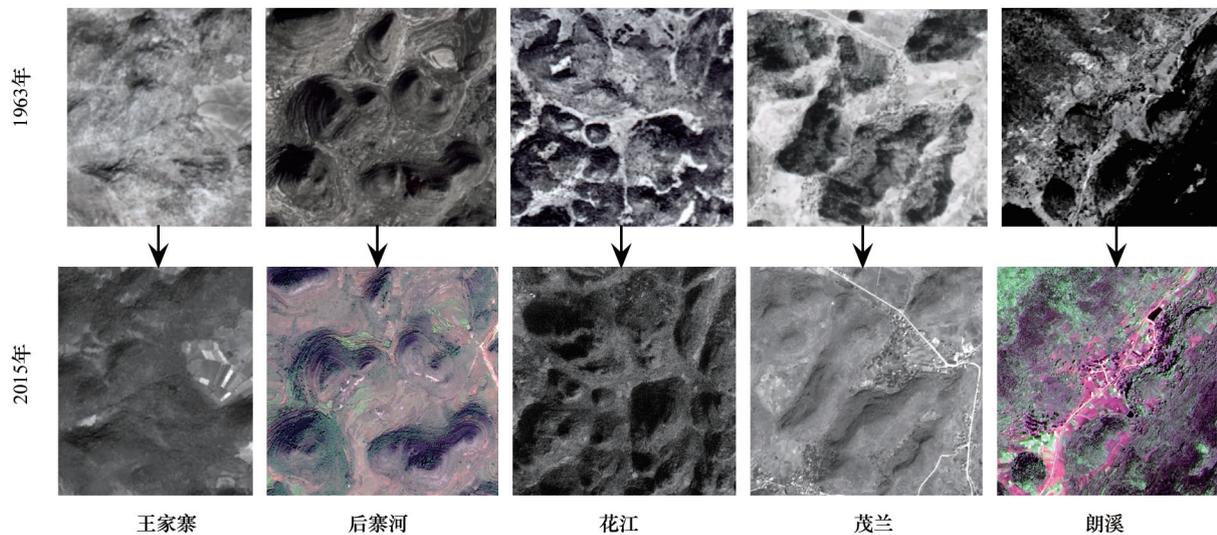


图 2 研究区石漠化数据源

Fig.2 Data sources of KRD

### 2.2 石漠化识别

对土地石漠化的判断基本是一致的<sup>[23-25]</sup>,本文在参考文献的基础上,采用如下石漠化分类标准(表 2),根据各地点不同时期的高分辨率遥感影像,结合野外调查,进行石漠化识别和判读(图 3)。

### 2.3 指标计算

#### 2.3.1 石漠化变化重要性指数和石漠化变化面积比重

参照土地利用重要性指数<sup>[26]</sup>,定义了石漠化变化重要性指数,用于筛选石漠化变化的主要类型,其计算公式为:

$$C_i = A_i/A \times 100\% \quad (1)$$

表 2 研究区不同等级石漠化划分标准

Table 2 The classification criterion and characteristic of different KRD types

指标 Index	无石漠化 No KRD	潜在石漠化 Potential KRD	轻度石漠化 Light KRD	中度石漠化 Middle KRD	强度石漠化 Severe KRD	极强度石漠化 Especial severe KRD
岩石裸露率/% Rocky ratio	<10	<30	30—50	50—70	70—90	>90
SPOT 影像特征 Characteristics SPOT image	亮绿色, 块状, 边界规则, 纹理清晰	深绿色, 块状	绿色, 零星点缀浸染状白色	浅绿色, 带星状白色	浅绿色, 带斑状白色,	连片灰白色
航片特征 Characteristics aerial photo image	斑点状灰黑色(林地); 白色、灰白色, 质地均一, 条块清晰(耕地)	灰色, 质地较均一	灰色, 质地很不均一	浅灰色, 零星点缀灰黑色	浅白色	连片灰白色

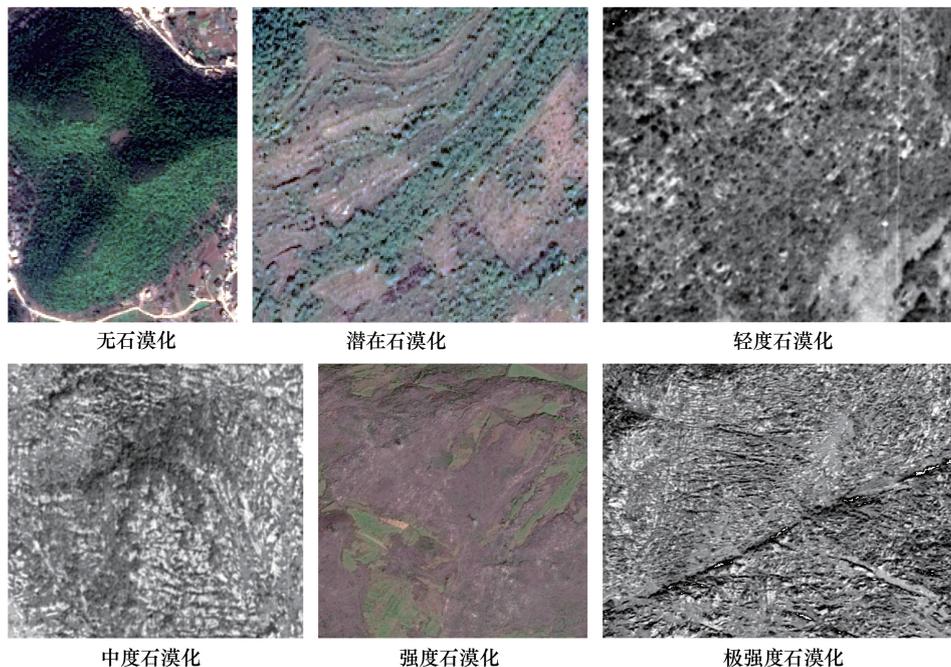


图 3 研究区石漠化的遥感影像识别

Fig.3 Identification of KRD in study area

$$A = \sum_{i=1}^n A_i \quad (2)$$

式中,  $C_i$  是第  $i$  种石漠化类型的变化重要性指数, 取值介于(0,1)之间,  $C_i$  值越大, 说明该类石漠化变化占据主导;  $A_i$  是第  $i$  类石漠化变化面积( $\text{km}^2$ ),  $A$  是该区域各类土地变化面积之和( $\text{km}^2$ )。考虑到石漠化变化种类较多, 将  $C_i$  值进行降序排列, 取累计之和 >80% 作为主要的石漠化变化类型。

石漠化变化面积比重是指各类石漠化变化面积之和占区域总面积的比重, 计算公式为:

$$D = A / S \times 100\% \quad (3)$$

式中,  $D$  是石漠化变化面积的比重, 取值 0—1 之间, 可揭示石漠化变化的剧烈程度;  $A$  是区域各类石漠化土地变化面积之和( $\text{km}^2$ ), 计算公式见式(2);  $S$  是区域面积( $\text{km}^2$ )。  $D$  值越大, 说明该区域石漠化变化越剧烈。

### 2.3.2 石漠化变化幅度

石漠化变化幅度(KD)反映两个时期( $t_1$ 、 $t_2$ )石漠化数量形态的相对变化值, 其数值的正负表示石漠化变化方向:

$$KD = (x_1 - x_2) / S * 100 \quad (4)$$

式中,  $x_1$  为基期研究区石漠化面积,  $x_2$  为末期研究区石漠化面积,  $S$  为区域总面积。

### 2.3.3 石漠化变化动态度

该模型可直观地反映某一石漠化类型变化剧烈程度与速度,也可反映不同类型间变化的差异。其计算公式为:

$$K = \frac{Ub - Ua}{Ua} \times \frac{1}{t2 - t1} \times 100\% \quad (5)$$

式(5)中,  $Ua$ 、 $Ub$  分别为研究区初期和末期某一石漠化类型面积,  $t1$ 、 $t2$  分别表示研究时段的初、末时间,若  $t$  设定为年时,  $K$  值就是该研究区石漠化年综合变化率。

### 2.3.4 石漠化综合指数

定义石漠化综合指数,建立基于石漠化面积比例和等级权重的石漠化综合指数  $A^{[27]}$ ,  $A$  值越大反映石漠化程度越严重,其最大值为 8。

## 3 结果分析

### 3.1 研究区石漠化面积演变趋势

5 个研究区作为一个整体,其不同石漠化类型面积随时间的演变见图 4。总体上,各时段石漠化面积比例为轻度>中度>强度和极强度石漠化顺序,但随时间的变化趋势存在差异,除中度石漠化外,总体上呈递减趋势。从 1963 年到 2015 年,石漠化总面积和轻、中度石漠化类型面积以 1980 年前后最高,到 2004 年和 2010 年逐渐降低,到 2016 年又有小幅度增加。但强度和极强度石漠化分别以 1990 年和 2004 年最高,到 2015 年明显降低。

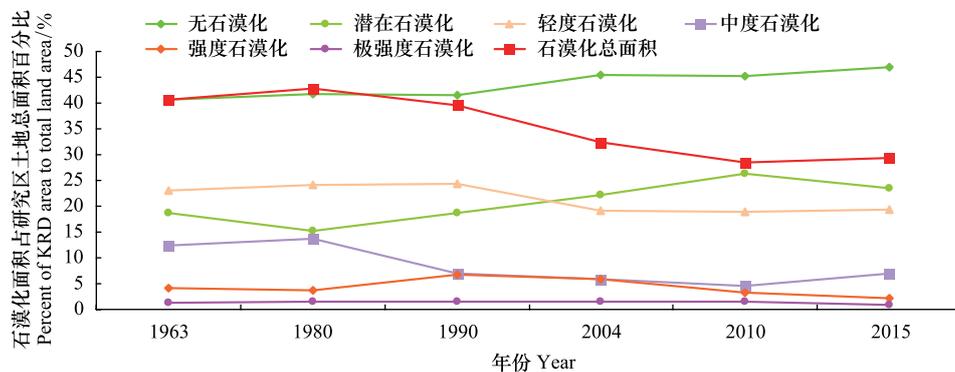


图 4 研究区石漠化面积的整体变化

Fig.4 Overall change of KRD area in the study area

在分析 5 个研究区作为一个整体其石漠化变化趋势的基础上,进一步讨论各研究区石漠化的差异化演变。茂兰研究区石漠化总面积自 1963 年至 2015 年逐年降低,其中中度石漠化以 1963 年最高,因为在 1980 年代设置保护区的缘故,1990 年其比例明显下降,而轻度石漠化比例以 1990 年最高,而后逐年降低(图 5)。

花江研究区石漠化情况严重<sup>[28]</sup>,石漠化总面积占研究区土地面积一半以上,以 1978 年最高,存在波动变化。轻度石漠化比例与石漠化总面积比例变化趋势一致,中度石漠化从 1963 年到 2010 年明显下降,到 2015 年又增至 9.50%,强度石漠化在历年没有明显变化。花江研究区极强度石漠化比例较高,其比例从 1963 年的 10.92%增至 2004 年的 17.48%,到 2010 年无明显变化,到 2010 年下降到 9.85%。

后寨河和王家寨研究区位于贵州中部高原,自然条件和社会经济条件相对较好,石漠化总面积比例从 1963 年到 2015 年一直呈较明显的下降趋势(除 2010 年后寨河石漠化总面积比例略有上升)。后寨河区石漠化自 2004 年其明显下降,中度石漠化从 1963 年来总体上明显下降;轻度石漠化的变化以 2004 年为拐点,之

前明显下降,之后又有所回升。王家寨地区的中度、强度和极强度石漠化比例从1963年到2015年呈降低趋势,中度石漠化在2010年到2015年略有增加;轻度石漠化比例从1982年的0.73%增加2015年的1.23%。

在朗溪槽谷区,石漠化总面积、中度和强度石漠化都呈增-减-增的趋势,石漠化总面积和中度石漠化面积以1973年最高,至2014年明显下降,至2017年二者面积比例又分别增加了6.51%和8.21%。强度石漠化呈波动变化以2004年为最高,轻度石漠化自1963年来明显下降以2014年最低,2017年略有增加。

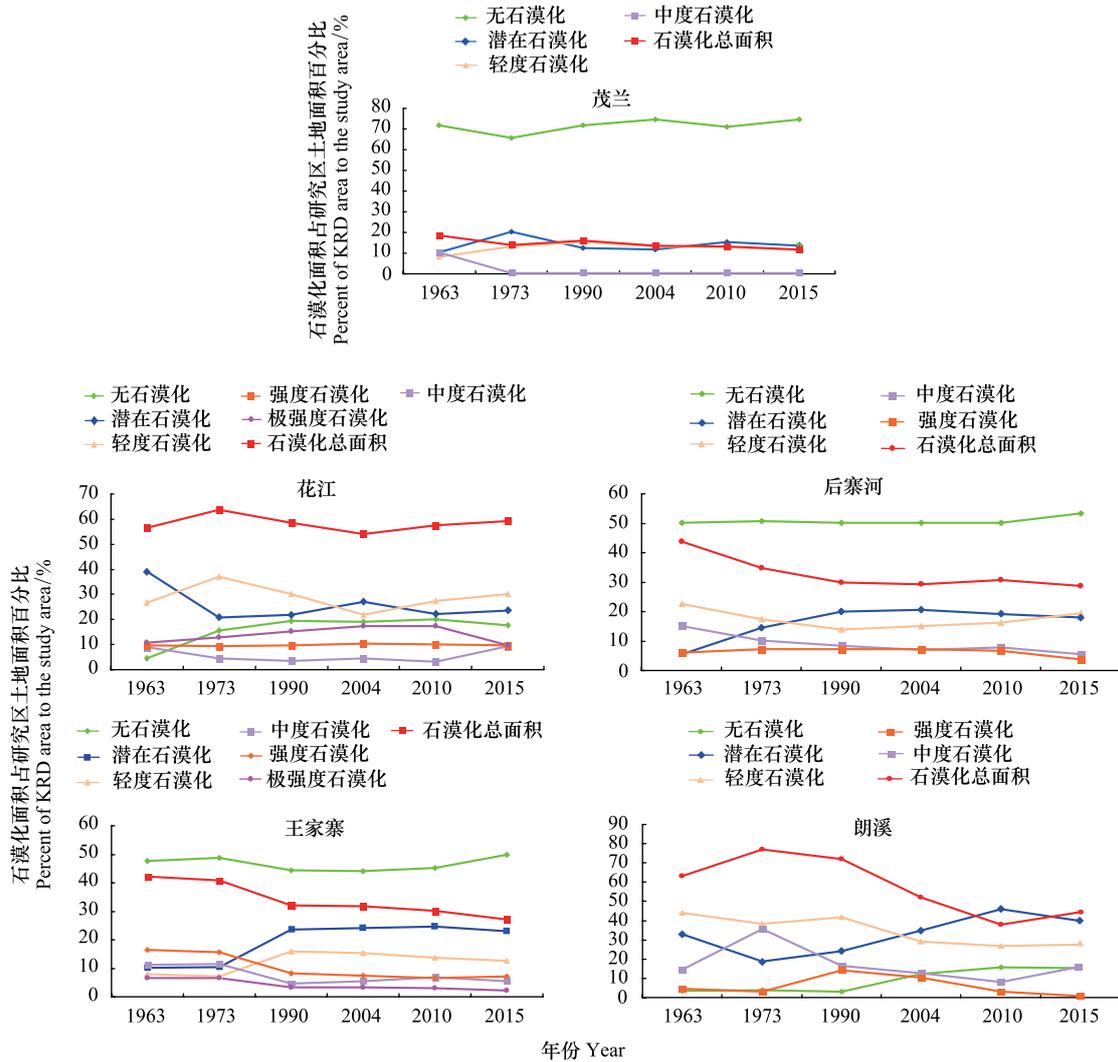


图5 各研究区不同类型石漠化面积演变

Fig.5 The area change of the different types of KRD in the study area

### 3.2 石漠化变化的主要类型

以各石漠化类型变化重要性指数来反映不同时间段石漠化的主要变化类型。在茂兰研究区,1973年前以中度石漠化变化相对较大,1973—2010年期间以轻度石漠化变化较大,2010—2015年期间中度石漠化的变化增加。

在花江研究区,2010年前轻度石漠化是主要变化类型,2010年后,极强度和中度石漠化则成为主要的变化类型,轻度石漠化的变化下降;且从1963年到2015年,强度石漠化变化很小,极强度和中度石漠化的变化波动较大。

在后寨河研究区,2010年以前,轻度和中度石漠化是变化的主要类型,2010年以后,强度石漠化与前二者一起,也成为变化的主要类型。

在王家寨研究区,不同时间段石漠化变化主要类型存在较大的变化。1963—1982年期间强度和轻度石

漠化为主要变化类型,1982—2004 年间中度、轻度和强度石漠化为主要变化类型,2004—2010 年间强度和  
中度石漠化为主要变化类型,2010—2015 年间中度和极强度石漠化为主要变化类型,说明在本研究区,各石漠  
化类型的面积相对不稳定。

在朗溪研究区,中度石漠化的重要性值较高,轻度石漠化的重要性较低。以 2004 年为拐点,中度和强度  
石漠化的重要性值呈此消彼长的相反变化,2004 年前,本区的石漠化演变以中度石漠化变化为主,2004 年后,  
本区的石漠化演变以中度和强度石漠化变化为主(图 6)。

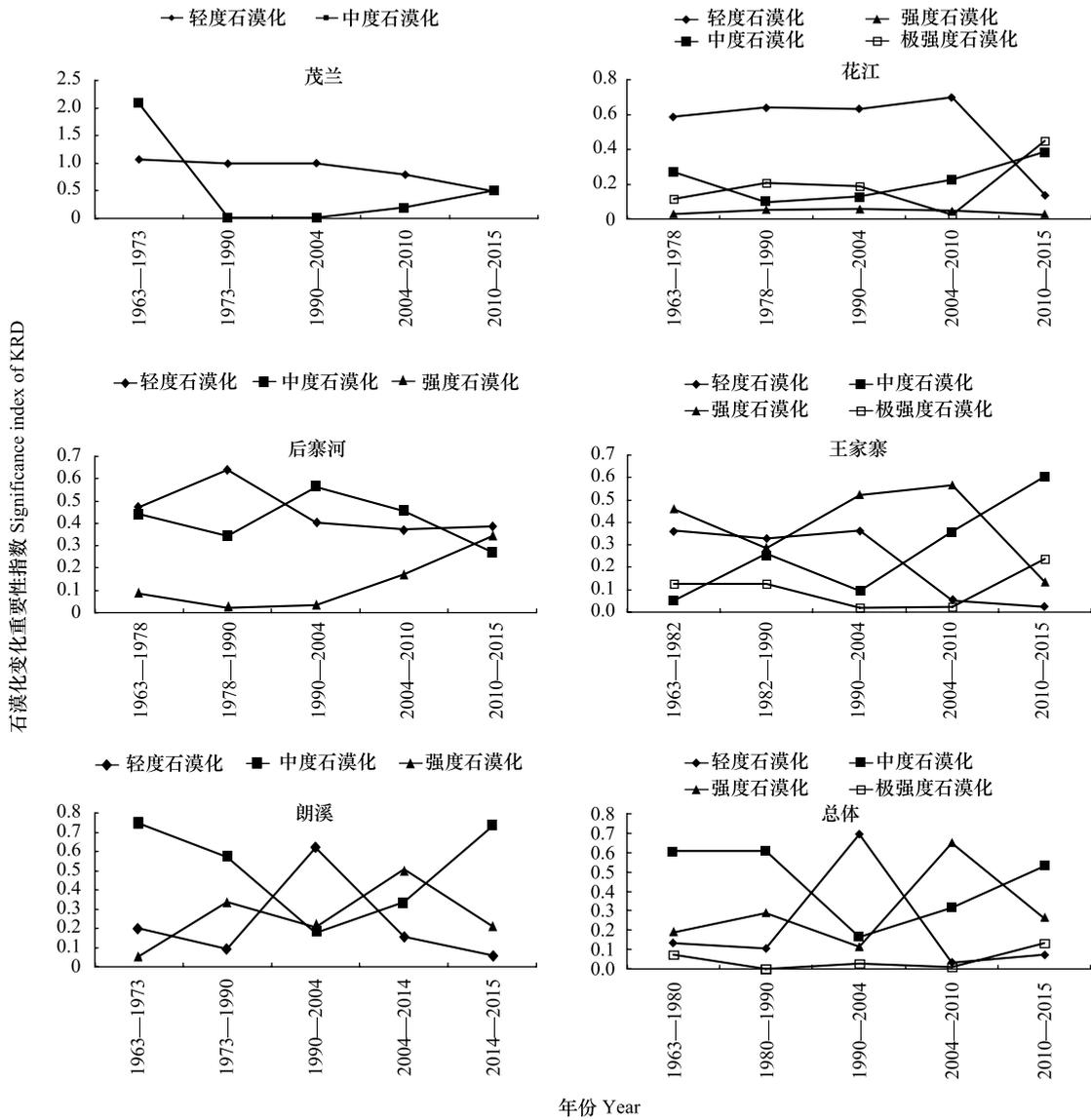


图 6 研究区石漠化重要性指数  
Fig.6 Significance index of KRD change in study area

### 3.3 石漠化综合指数与石漠化面积比重变化

5 个研究点作为一个整体来看,其石漠化综合指数 A 值从 1963 年到 1980 年代有所增加,然后逐年下降,  
但 5 个研究点的石漠化综合指数变化差异较大(图 7)。茂兰地区 A 值最低,花江地区 A 值最高,朗溪槽谷 A  
值总体高于王家寨和后寨河。茂兰地区 K 值从 1963 年来,除 1990 年略有增加外,持续降低;花江地区 A 值一  
直较高,以 2010 年最高,2015 年有明显下降;后寨河地区 A 值自 1963 年来持续下降;王家寨地区 A 值 1963 年  
到 1982 年变化不大,到 1990 年大幅度下降,随后持续下降;朗溪地区 A 值呈先增后减再增的波动式变化,以

1973 年最高,2010 年最低,到 2015 年略有增加。5 个研究点 K 值的差异变化是与其自然和社会背景紧密相关的。

从研究区石漠化变化面积比重  $D$  值来看(图 8),从 1963 年到 2015 年,石漠化变化面积比重总体上减少,反映研究区石漠化面积区域稳定。但各研究点的  $D$  值变化差异较大,其中,王家寨研究区  $D$  值以 1982—1990 年段最高,茂兰和花江研究区  $D$  值逐年降低;后寨河研究区  $D$  值以 1990—2004 年最低,说明该时间段本区石漠化面积变化小;朗溪研究区  $D$  值在总体下降的趋势下,在 1990—2004、2010—2015 年时间段出现波动。

### 3.4 石漠化变化的幅度和动态度

图 9 反映了各研究区石漠化总面积数量形态变化的幅度和速度。从变化幅度看,各研究区存在 1980 年代和 2004 年两个明显的转折点,从 1963 年到 1980 年代,各区石漠化面积有增有减,又可分 3 种类型:朗溪、花江石漠化面积明显增加,后寨河石漠化面积明显下降,茂兰和王家寨的石漠化面积不明显下降。在 1980 年代到 2004 年时间段,5 个研究区的石漠化面积都表现为下降,又以朗溪的石漠化面积下降最明显,其次是王家寨和花江。2004 年后的石漠化面积演变总体以继续下降为主,但个别地点石漠化面积增加,呈现出多样化演变;如 2004—2010 年间,花江、后寨河石漠化面积表现出增加,其余 3 个研究区石漠化面积下降,又以朗溪石漠化面积下降最明显;2010—2015 年(2017 年),朗溪和花江石漠化面积表现出增加,其余 3 个研究区石漠化面积下降。

进一步分析不同类型石漠化的变化幅度,轻度石漠化变化幅度在茂兰从 1990 后逐年下降,在花江 2004 年后增加,在后寨河 2010 年后增加,在朗溪以 1990—2004 期间下降最明显,在王家寨以 1980—1990 年期间最高。总体上看,轻度石漠化变化幅度有 1980s 和 2004 年 2 个转折点;中度石漠化变化幅度以 2004 年为转折点;强度石漠化变化幅度存在 1980s 和 2004 年 2 个转折点;而 2004 年后是极强度石漠化下降的转折点。

石漠化变化动态度所反映出的石漠化面积演变规律与石漠化变化幅度揭示的规律一致。不同研究区各石漠化类型动态度最大值出现的时间段不一致,总体上看,2004 年是石漠化动态度变化的较明显转折点。另外图 10 也反映了 2010 年到 2017 年间朗溪槽谷区石漠化总面积动态度明显高于其余各区和其余时间段,即此时段石漠化增加速度快,主要与该区今年大力发展经果林,导致一些已退耕撂荒地重新垦殖有关。

### 3.4 石漠化空间分布演变

为了反映 5 个点各时期石漠化空间分布格局的变化,采用移动窗口法(200m \* 200m),计算了各研究点石漠化变化主要类型的面积比例分布图(图 11)。从空间分布上看,茂兰地区的轻度石漠化退缩于西北的缓冲区,保护区核心区的轻度石漠化减少;花江地区的强度石漠化有集中连片逐渐转化成离散分布;后寨河中度石漠化和王家寨强度石漠化在空间分布上同样表现为收缩,且  $>25^\circ$  范围的无石漠化比例在增加<sup>[29]</sup>;朗溪中度石漠化空间上表现为先扩张再收缩、近年再扩张。

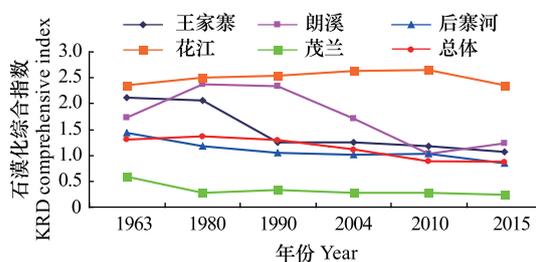


图 7 研究区石漠化综合指数变化

Fig. 7 Changes of KRD comprehensive index in the study area

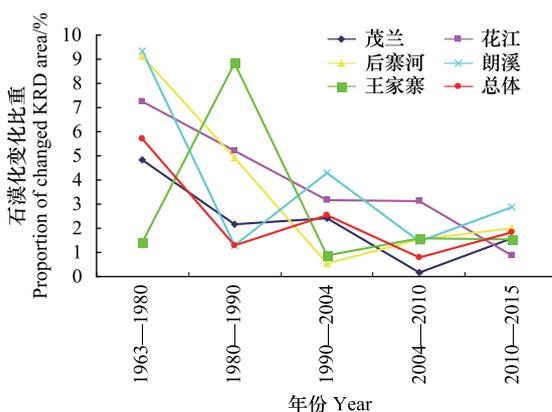


图 8 研究区石漠化变化面积比重

Fig. 8 Values of the proportion of changed KRD area in study area

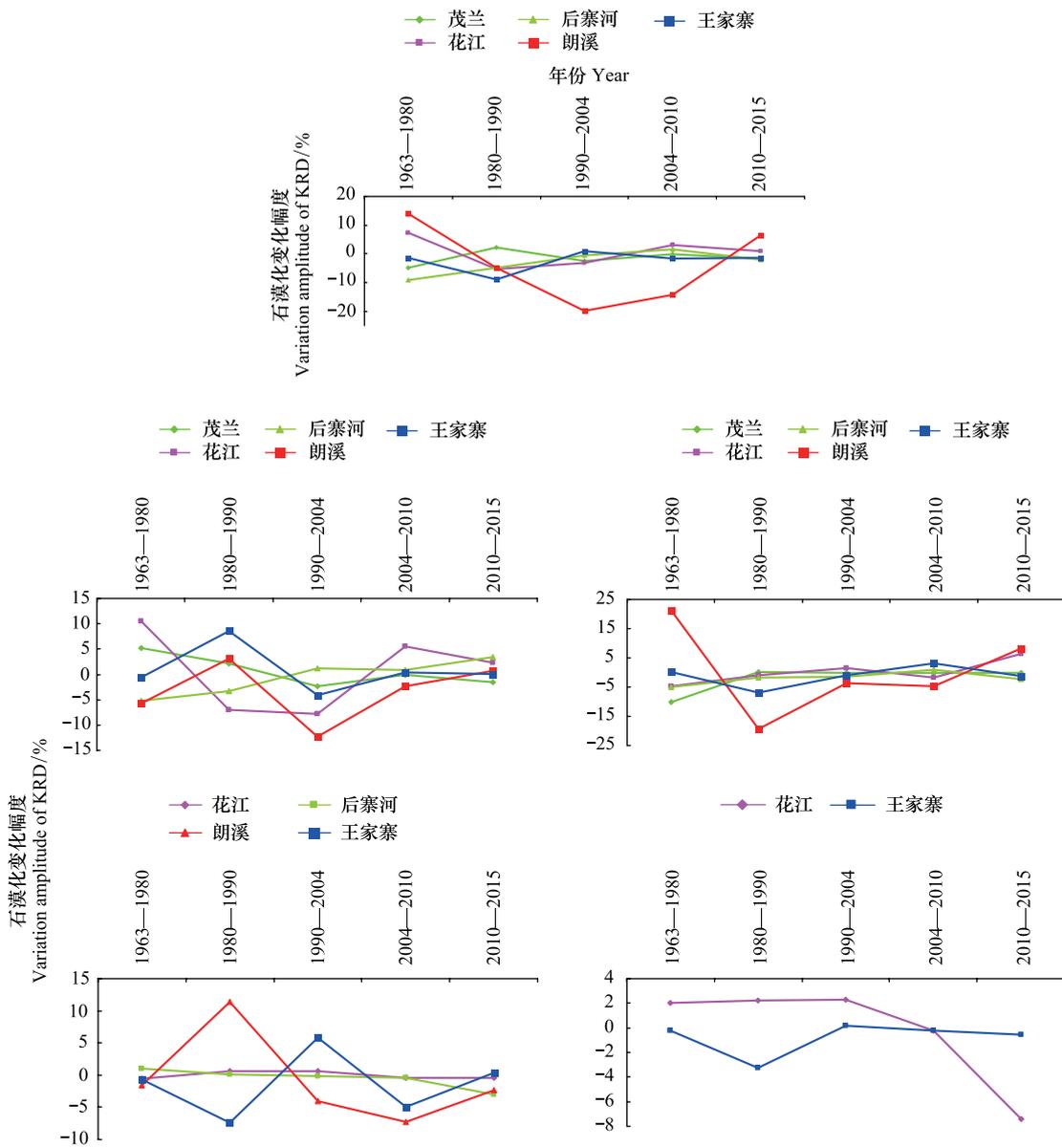


图 9 研究区石漠化变化幅度 (a. 石漠化总面积; b. 轻度石漠化; c. 中度石漠化; d. 强度石漠化; e. 极强度石漠化)

Fig.9 The variation amplitude of KRD ( a. the total area of KRD; b. light KRD; c. middle KRD; d. severe KRD; e. especial severe KRD)

### 4 讨论

#### 4.1 石漠化演变的转型性

从乡村尺度来看,大量和快速增长的人口、不可持续土地利用形成强烈的土地压力,诱发了石漠化<sup>[30]</sup>。但从 1978 年经济改革开放以来,农村人口大量流失,中国从依附土地的农业社会转变成城市和工业社会,从而引起中国土地利用转型<sup>[31]</sup>;而山区农村土地利用转型是自然恢复和生态优化的良性过程<sup>[32]</sup>,对于岩溶山地来说,这种土地利用转型则意味着石漠化程度减轻<sup>[33]</sup>。本文尽管只选择了贵州省的 5 各地点作为研究区,但笔者认为,岩溶山地的其他地域也是处于中国当前的经济社会发展的大背景下,其石漠化演变的总体趋势应是一致的,其他研究者的研究结果也反映了这一趋势<sup>[34]</sup>。当然也不排除西南岩溶山地局部地方因种种原因,仍存在石漠化扩张演变。

5 个研究区作为一个整体从 1963 年以来其石漠化演变又进一步可分为增加阶段、稳定阶段、转型阶段和

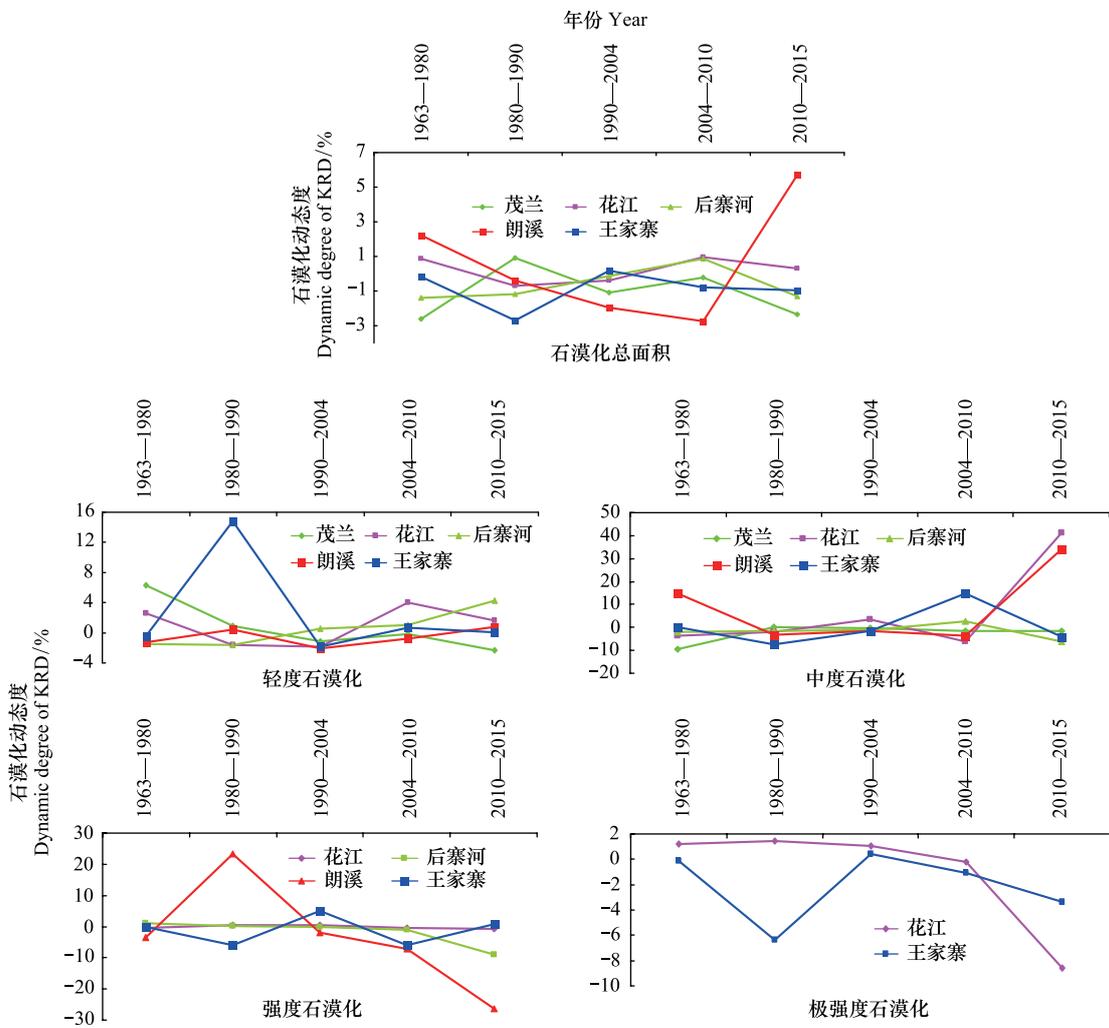


图 10 研究区石漠化动态度(a. 石漠化总面积; b. 轻度石漠化; c. 中度石漠化; d. 强度石漠化; e. 极强度石漠化)

Fig.10 The dynamic degree of KRD

多样化演变阶段(图 12),可在一定程度上反映出中国西南岩溶山地石漠化演变的共性和一般特征,即石漠化演变的趋势发生了由增到减的转型。本文的研究发现 1980 年代是西南岩溶山地石漠化由增到减的拐点,从 1963 年到 2015 年,石漠化演变经历了由增到减的转型,宏观上,这与中国 1978 年改革开放以来社会经济的发展是分不开的;同时,2004 年也是岩溶山地石漠化,特别是强度石漠化和极强度石漠化明显下降的拐点,这与 2000 年后实行和退耕还林政策和近年的石漠化治理工程存在密切关系,体现了石漠化土地的可逆性和可恢复治理性,如以贵州省为例,其森林覆盖率在 2000 年逐步上升,就是对此的直接反映(图 13)。同时,岩溶山地的这种土地利用变化与生态恢复,在国外岩溶山地同样存在,如原本植被稀疏的经典岩溶地区的景观特性在过去 250 年期间(1763/1787—2012)发生了变化,森林面积比例从 17%增长到 73%<sup>[35]</sup>。同时,本文也发现,不同类型的石漠化都可以成为石漠化演变的主要类型,不论是轻度、中度,还是强度、极强度石漠化,其增减都可以成为石漠化变化的主要形式,说明石漠化演变是可逆转的,石漠化土地是可恢复治理的。

#### 4.2 石漠化演变模式的多样性

从各研究区 1963 年来石漠化的面积比例变化、变化重要性、变化幅度和速度等可以总结出,茂兰研究区形成低石漠化-持续下降-轻度石漠化为主-小幅度缓慢演变模式;花江研究区形成高石漠化-波动下降-中强度石漠化为主-较大幅度明显演变模式,2010—2015 年间极强度石漠化变化幅度为-7.43%,动态度为-8.60%,说明石漠化治理成果比较显著<sup>[36]</sup>;后寨河研究区形成较高石漠化-持续下降-中轻度石漠化为主-小幅

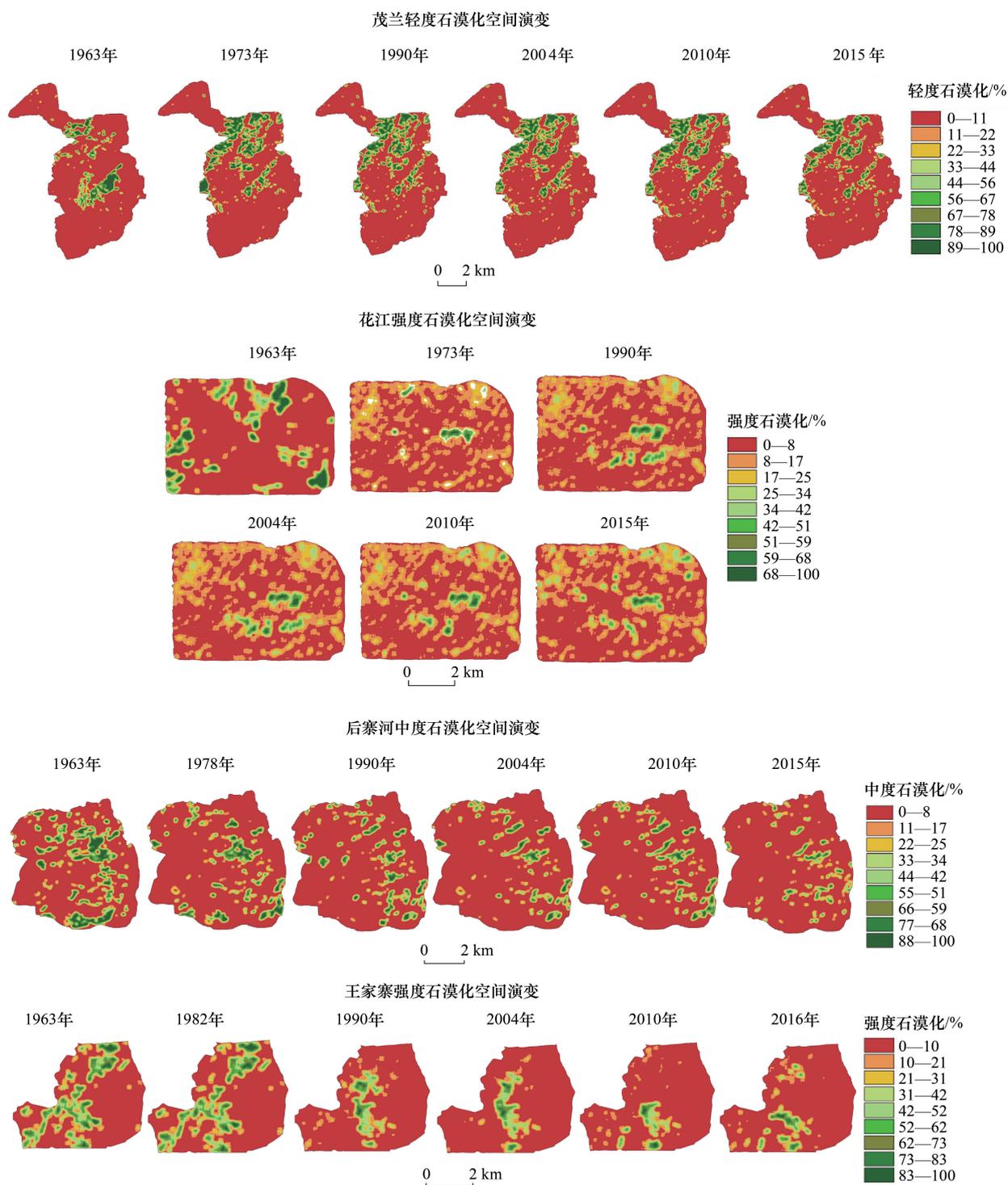


图 11 研究区主要石漠化变化类型的空间分布演变

Fig.11 The spatial evolution of main KRD change type in the study area

度转型缓慢演变模式;王家寨研究区形成低石漠化-持续下降-中强度石漠化为主-小幅度转型缓慢演变模式;朗溪研究区形成高石漠化-波动下降-中强度石漠化为主-大幅度快速演变模式,其近年石漠化增加的原因在于很多已撂荒多年且演变成灌丛的承包地,现以土地流转的方式被重新垦殖为果园等(图 14),导致近期岩石裸露增加,2010—2015 年中度石漠化变化幅度为 8.21%,动态度为 34.15%。综上所述,5 个研究区因自然条件和社会经济背景不同,分别形成不同的石漠化演变模式。

石漠化演变模式的多样性体现在演变时段的多样性、不同地域的多样性,但因各地的自然背景和社会经济因素存在差异,其石漠化变化的时间节点、变化规模、变化类型必然存在差异,也不一定就会出现多样化演变阶段,从而体现出石漠化演变在不同时段和不同地域的多样性。进而从 5 个研究区 50 年来石漠化的演变过程来看,我们同样可以认为,岩溶山地石漠化的存在是有时间阶段性的,这取决于宏观的社会经济背景和乡村地域特性,但随着石漠化治理工程的深入实施,近年中石漠化演变存在的多样性将减少,石漠化将不断萎缩。

## 5 结论

本文基于贵州省 5 个典型岩溶地貌区近 50 年的高分辨率遥感影像和实地调查,探讨了在社会经济背景多重变化下的岩溶石漠化演变趋向等科学问题,得到以下几点结论:

(1) 5 个研究区其石漠化综合指数从 1963 年到 1980 年代有所增加,然后逐年下降;强度和极强度石漠化分别以 1990 年和 2004 年最高,到 2015 年明显降低。从变化幅度看,各研究区石漠化变化存在 1980 年代和 2004 年两个明显的转折点。

(2) 5 个研究区主要石漠化变化类型在空间分布上主要表现为收缩,仅局部区域有所扩张。

(3) 5 个研究区因自然条件和社会经济背景不同,形成石漠化演变模式的多样性和演变时段的多样性。

(4) 5 个研究区作为一个整体来看,其石漠化演变阶段可分为增加阶段、稳定阶段、转型阶段和多样化演变阶段,呈现了由增到减的转型演变趋势,可在一定程度上反映出中国西南岩溶山地石漠化演变的共性和一般特征,说明石漠化演变是可逆转的。

### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Wang S J, Liu Q M, Zhang D F. Karst rocky desertification in Southwestern China: geomorphology, land use, impact and rehabilitation. *Land Degradation & Development*, 2004, 15(2): 115-121.
- [ 2 ] Jiang Z C, Lian Y Q, Qin X Q. Rocky desertification in Southwest China: impacts, causes, and restoration. *Earth-Science Reviews*, 2014, 132: 1-12.
- [ 3 ] 刘军会, 高吉喜, 马苏, 王文杰, 邹长新. 中国生态环境敏感区评价. *自然资源学报*, 2015, 30(10): 1607-1616.
- [ 4 ] 姚永慧. 中国西南喀斯特石漠化研究进展与展望. *地理科学进展*, 2014, 33(1): 76-84.
- [ 5 ] 杨胜元. 贵州岩溶石山地区生态环境、资源与脱贫致富对策探讨. *贵州环保科技*, 2002, 8(2): 44-48.
- [ 6 ] Wang S J, Li R L, Sun C X, Zhang D F, Li F Q, Zhou D Q, Xiong K N, Zhou Z F. How types of carbonate rock assemblages constrain the distribution of karst rocky desertified land in Guizhou Province, PR China: phenomena and mechanisms. *Land Degradation & Development*, 2004, 15(2): 123-131
- [ 7 ] 宋同清, 彭晚霞, 杜虎, 王克林, 曾馥平. 中国西南喀斯特石漠化时空演变特征、发生机制与调控对策. *生态学报*, 2014, 34(18): 5328-5341.

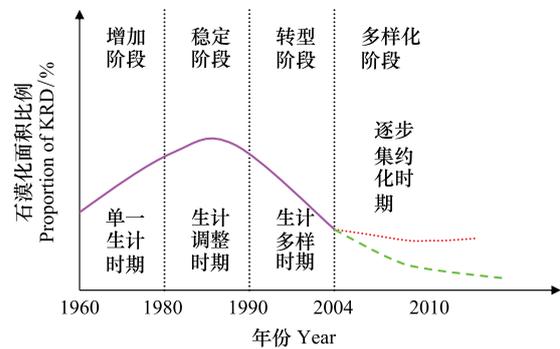


图 12 石漠化演变阶段模型

Fig.12 The evolving model of KRD in different stages

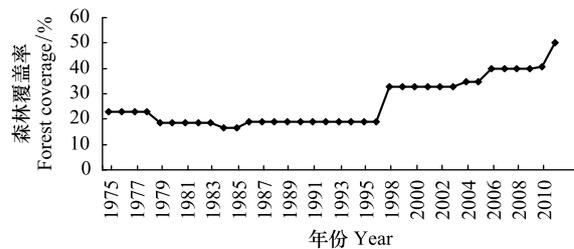


图 13 贵州省森林覆盖率变化

Fig.13 The forest coverage variation of Guizhou Province

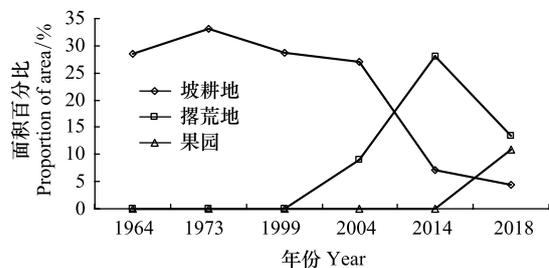


图 14 朗溪研究区三村村土地利用变化

Fig.14 The land use change of Sancun village in Langxi study area

- [ 8 ] 许尔琪. 基于地理加权回归的石漠化影响因子分布研究. 资源科学, 2017, 39(10): 1975-1988.
- [ 9 ] Dou H T, Zhen L, Li H P. Spatial distribution characteristics of rocky desertification in Qiongdongnan Prefecture of Guizhou Province. *Journal of Resources and Ecology*, 2017, 8(4): 422-432.
- [ 10 ] 李森, 魏兴琥, 黄金国, 王明刚, 罗红波, 李红兵. 中国南方岩溶区土地石漠化的成因与过程. 中国沙漠, 2007, 27(6): 918-926.
- [ 11 ] 安国英, 周璇, 温静, 童立强. 西南地区石漠化分布、演变特征及影响因素. 现代地质, 2016, 30(5): 1150-1159.
- [ 12 ] 蒋忠诚, 罗为群, 童立强, 程洋, 杨奇勇, 吴泽燕, 梁建宏. 21 世纪西南岩溶石漠化演变特点及影响因素. 中国岩溶, 2016, 35(5): 461-468.
- [ 13 ] 李建存, 涂杰楠, 童立强, 郭兆成. 贵州岩溶石漠化 20 年演变特征与影响因素分析. 国土资源遥感, 2013, 25(4): 133-137.
- [ 14 ] 张雪梅, 王克林, 岳跃民, 童晓伟, 廖楚杰, 张明阳, 姜岩. 生态工程背景下西南喀斯特植被变化主导因素及其空间非平稳性. 生态学报, 2017, 37(12): 4008-4018.
- [ 15 ] Liu Y S, Wang J Y, Deng X Z. Rocky land desertification and its driving forces in the karst areas of rural Guangxi, Southwest China. *Journal of Mountain Science*, 2008, 5(4): 350-357.
- [ 16 ] 闫利会, 周忠发, 陈全, 魏小岛. 高原峡谷区喀斯特石漠化演变过程研究. 水文地质工程地质, 2016, 43(2): 112-117, 125-125.
- [ 17 ] 苏攀达, 丁镭, 曾克峰. 武陵山脉核心区石漠化演变及其经济驱动机制——基于贵州铜仁的实证检验. 水土保持研究, 2018, 25(2): 195-200, 206-206.
- [ 18 ] Huang Q H, Cai Y L. Spatial pattern of Karst rock desertification in the Middle of Guizhou Province, Southwestern China. *Environmental Geology*, 2007, 52(7): 1325-1330.
- [ 19 ] Bai X Y, Wang S J, Xiong K N. Assessing spatial-temporal evolution processes of karst rocky desertification land: indications for restoration strategies. *Land Degradation & Development*, 2013, 24(1): 47-56.
- [ 20 ] 陈飞, 周德全, 白晓永, 肖建勇, 钱庆欢. 典型喀斯特槽谷区石漠化时空演变及未来情景模拟. 农业资源与环境学报, 2018, 35(2): 174-180.
- [ 21 ] 罗光杰, 李阳兵, 程安云, 丹文丽. 岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比——以贵州四个典型地区为例. 生态学报, 2011, 31(14): 3882-3889.
- [ 22 ] 李阳兵, 李睿康, 罗光杰, 谢静, 徐倩. 贵州典型峰丛洼地区域近 50 年村落演变规律及驱动机制. 生态学报, 2018, 38(7): 2523-2535.
- [ 23 ] 李森, 董玉祥, 王金华. 土地石漠化概念与分级问题再探讨. 中国岩溶, 2007, 26(4): 279-284.
- [ 24 ] 李阳兵, 罗光杰, 白晓永, 王永艳, 谢静, 杨广斌. 典型峰丛洼地耕地、聚落及其与喀斯特石漠化的相互关系——案例研究. 生态学报, 2014, 34(9): 2195-2207.
- [ 25 ] Xu E Q, Zhang H Q, Li M X. Mining spatial information to investigate the evolution of karst rocky desertification and its human driving forces in Changshun, China. *Science of the Total Environment*, 2013, 458-460: 419-426.
- [ 26 ] 罗娅, 杨胜天, 刘晓燕, 刘昌明, 宋文龙, 董国涛, 赵海根, 娄和震. 黄河河口镇—潼关区间 1998-2010 年土地利用变化特征. 地理学报, 2014, 69(1): 42-53.
- [ 27 ] 李阳兵, 王世杰, 程安云, 李卫海, 罗光杰. 基于网格单元的喀斯特石漠化评价研究. 地理科学, 2010, 30(1): 98-102.
- [ 28 ] Ying B, Xiao S Z, Xiong K N, Cheng Q W, Luo J S. Comparative studies of the distribution characteristics of rocky desertification and land use/land cover classes in typical areas of Guizhou province, China. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 71(2): 631-645.
- [ 29 ] 李阳兵, 罗光杰, 程安云, 邵景安, 白晓永, 王世杰. 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. 地理研究, 2013, 32(5): 828-838.
- [ 30 ] Yan X, Cai Y L. Multi-scale anthropogenic driving forces of karst rocky desertification in Southwest China. *Land Degradation & Development*, 2015, 26(2): 193-200.
- [ 31 ] 张佰林, 高江波, 高阳, 蔡为民, 张凤荣. 中国山区农村土地利用转型解析. 地理学报, 2018, 73(3): 503-517.
- [ 32 ] Chen R S, Ye C, Cai Y L, Xing X S, Chen Q. The impact of rural out-migration on land use transition in China: past, present and trend. *Land Use Policy*, 2014, 40: 101-110.
- [ 33 ] Yang Q Y, Jiang Z C, Yuan D X, Ma Z L, Xie Y Q. Temporal and spatial changes of karst rocky desertification in ecological reconstruction region of Southwest China. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 72(11): 4483-4489.
- [ 34 ] Tong X W, Brandt M, Yue Y M, Horion S, Wang K L, De Keersmaecker W, Tian F, Schurgers G, Xiao X M, Luo Y Q, Chen C, Myneni R, Shi Z, Chen H S, Fensholt R. Increased vegetation growth and carbon stock in China karst via ecological engineering. *Nature Sustainability*, 2018, 1(1): 44-50.
- [ 35 ] Kaligarić M, Ivajnskić D. Vanishing landscape of the “classic” karst: changed landscape identity and projections for the future. *Landscape and Urban Planning* 2014, 132: 148-158.
- [ 36 ] 张勇荣, 周忠发, 闫利会. 贵州喀斯特高原峡谷和盆地典型区石漠化演变特征分析. 中国农村水利水电, 2015, (3): 59-63.