

喀斯特石漠化过程中土壤颗粒组成的空间分异特征

罗绪强^{1,2}, 王世杰¹, 张桂玲¹, 王程媛^{1,2}

(¹中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;

²中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:对喀斯特高原区贵州省清镇市王家寨峰丛洼地同一流域内不同类型石漠化、不同等级石漠化以及不同干扰方式石漠化土壤颗粒组成变化及其空间分布特征进行了研究。结果表明:随着石漠化的发展,土壤物理性粘粒(粒径<0.01 mm)含量逐渐增加,物理性砂粒(粒径>0.01 mm)含量逐渐减少,土壤向粘质化、紧密化发展。在不同等级石漠化中,土壤各粒级颗粒含量在中度与强度之间均无明显变化,而在轻度与强度之间除粗砂粒外均存在显著性差异($P \leq 0.05$),轻度-中度阶段为土壤颗粒组成变化最敏感时期。黑色石灰土中的物理性粘粒普遍低于黄壤,而物理性砂粒则普遍高于黄壤,且除粗砂粒外的各粒级颗粒含量在两类土壤中均存在极显著性差异($P \leq 0.01$)。开垦和放牧较樵采和火烧更易使土壤中的小颗粒聚集,总体表现为开垦>放牧>樵采>火烧。土壤颗粒组成受土壤有机质的影响,并影响着土壤的其他结构性能。

关键词:喀斯特石漠化;土壤颗粒组成;空间分布;水土流失

中图分类号:S152.3, X142 **文献标识码:**A

Spatial Variation of Soil Particle Composition in the Process of Karst Rocky Desertification

Luo Xuqiang^{1,2}, Wang Shijie¹, Zhang Guiling¹, Wang Chengyuan^{1,2}

(¹State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry,

Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002;

²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: Karst rocky desertification is a major kind of land desertification. This article discussed the changes and spatial distribution characteristic of soil particle composition in the surficial soil of the karst rocky desertification area, including different type, different grade and different disturbed modes karst rocky desertification within the same small catchment, which belong to the Wangjiazhai peak-cluster depression basin, located in Qingzhen city, Guizhou province. The results showed that with the degree of karst rocky desertification, the soil tends to viscously and tightly, and the soil physical clay content ($r < 0.01$ mm) is going up while sandy content ($r > 0.01$ mm) is going down. There is no obvious difference on all soil particle-size between the moderate karst rocky desertification and strong karst rocky desertification, while there have significant difference between the strong karst rocky desertification and slightly karst rocky desertification ($P \leq 0.05$) except grit content. Slightly-moderate karst rocky desertification is the sensitive period of the changes of soil particle composition. The yellow soils have higher physical clay content and lower sandy content than that of black calcareous soil and showed the most significant difference ($P \leq 0.01$) except grit content. Furthermore,

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403200);中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-306);中国科学院知识创新领域前沿项目(IG-04-01)和国家自然科学基金面上项目(40672112)资助。

第一作者简介:罗绪强,男,1976年出生,贵州遵义人,讲师,博士研究生,研究方向为环境地球化学。通信地址:550002 贵阳市观水路46号 中国科学院地球化学研究所, Tel: 0851-5232038, E-mail: xuqiangluo@163.com。

通讯作者:王世杰,男,1966年出生,浙江台州人,研究员,博士,博士生导师,研究方向为岩溶环境与地球化学。Tel: 0851-5895328, E-mail: Wangshijie@vip.skleg.cn。

收稿日期:2009-02-06, **修回日期:**2009-03-10。

the small soil particles are easier to aggregation in the reclaimed and browsed rocky desertification than that of fired and lumbered rocky desertification. The rule in small particles aggregation is reclaimed > browsed > lumbered > fired. Soil organic matter also has the effect on soil particle composition and other structural performance.

Key words: Karst rocky desertification, soil particle composition, spatial variability, water loss and soil erosion

0 引言

土壤是由形状与大小各异的土壤颗粒组成的多孔介质,土壤颗粒组成是构成土壤结构体的基本单元。不同粒径的土壤颗粒具有不同的理化性质,不同土壤颗粒含量的组合构成不同质地的土壤类型,影响土壤的疏水性和空气循环、结构性状和养分含量,决定其持水能力、保肥能力、透气程度和保温能力等理化性质,进而影响土壤的物理、化学和生物学过程^[1-2]。土壤颗粒组成与成土母质及其理化性状和侵蚀强度密切相关,土壤的粒径分布在某种程度上决定了土壤的结构和性质,常常被用着分析和预测土壤性质的重要指标^[3-6]。土壤颗粒组成的变化是土地退化过程中最普遍而有代表性的现象,土地一旦发生退化,首先表现为地表物质颗粒组成的变化,土壤颗粒组成的变化和差异,可以用来判断土地退化的强弱和发展强度^[7-9,2],研究土壤颗粒组成对土壤的保护、耕作、种植以及改良和了解土壤、植被的演替过程都具有重要意义^[10-11]。

喀斯特地区多为峰林、峰丛、峡谷地貌,地表崎岖破碎,坡度陡峭,溶蚀、水蚀作用显著^[12-13]。喀斯特石漠化是土地荒漠化的主要类型之一,其实质就是土地退化^[14-15],从本质上来讲就是岩溶地区的成土速率远小于水土流失的速率而造成的土地生产力退化过程^[16]。碳酸盐岩风化残积而成的喀斯特土,土层浅薄且分布零星,一般缺乏C层,B层常直接与碳酸盐岩基岩接触,形成上下两个软硬明显不同的岩土界面,其岩土之间的亲和力和黏着力很差,土层极不稳定,一旦植被遭到破坏,在降雨等诱发条件下,极易发生水土流失^[17,3,10]。对岩溶区土壤侵蚀特征的研究表明岩溶地区的土壤侵蚀是与第四纪生态环境的演变和土地利用景观演化紧密联系的^[18],现代侵蚀是自然和人为加速侵蚀的综合作用过程。作者以喀斯特高原区贵州省清镇市王家寨峰丛洼地小流域为例,通过对同一流域内不同土壤类型石漠化、不同等级石漠化、不同干扰方式石漠化间土壤颗粒组成变化及其空间分布特征进行研究,应用EXCEL和SPSS软件进行数据统计和分析,探讨喀斯特石漠化过程中土壤颗粒组成变化特征及其影响因素,为喀斯特石漠化过程中土壤质量状况及其生态安全评价提供科学依据。

1 研究区概况

研究地位于贵州省清镇市红枫湖镇簸箩村王家寨小流域,东经106°20'5"~106°21'8",北纬26°31'45"~26°30'27",喀斯特分布面积达95%,是贵州高原面上一个典型的喀斯特丘原区,流域面积约2.4 km²。该区岩性为T₂g关岭组的灰质白云岩,地貌为典型喀斯特浅碟状峰丛洼地,峰丛与洼地面积比为1.65:1。海拔最高点1451.1 m,最低点1275.0 m。属亚热带季风湿润气候,年均温14℃,极端最高温35℃,极端最低温-5℃,年总积温4700℃,年辐射量361.2 kJ/cm²,年降雨量1200 mm,雨热同季,降雨集中在5—9月份。研究区主要土壤类型以黑色石灰土和黄壤为主,洼地以北的峰丛坡面土壤以黑色石灰土为主,而洼地以南的峰丛坡面由于地势相对较为平缓,坡度较小,该区土壤主要以湖泊沉积物堆积风化而成的黄壤为主。流域内喀斯特地表渗漏强烈,加上人类的长期破坏造成植被覆盖率较低,峰丛以灌木林和草地为主,乔木仅存于村寨附近的风水林,以“绿岛”的形式点缀在喀斯特石漠化土地上。流域内石漠化发育完全,等级明显,小生境类型复杂,人为干扰方式多样化,具有较大的代表性。

2 研究方法

2.1 样地设置

样地设于小流域内不同峰丛坡面上,在不同土壤类型、不同干扰方式背景区分别选择无石漠化、轻度石漠化、中度石漠化和强度石漠化等不同退化程度的研究样地,同时考虑坡位等影响因素(图1)。在强度、轻度、中度石漠化坡面典型地段随机拉一条从坡顶至坡底的样线,在每条样线上每隔约10 m设置一个约5 m×5 m样方。由于无石漠化山坡高差较小,样地面积需求较大(20 m×20 m),无法按坡位变化设置样地,只在坡面典型位置设置样地进行采样。

2.2 样品采集与分析测试

样品的采集按权重法^[19],即首先对设置样地划分小生境类型,将样地土壤分布及所占面积绘图,将图像处理计算出各生境面积在样地中所占比例即权重值,由面积权重确定组成样地土壤代表样的各类小生境土样样品量,而各类小生境土样则分别由以面积权重确定的同类小生境样品量混合构成,小生境土样则

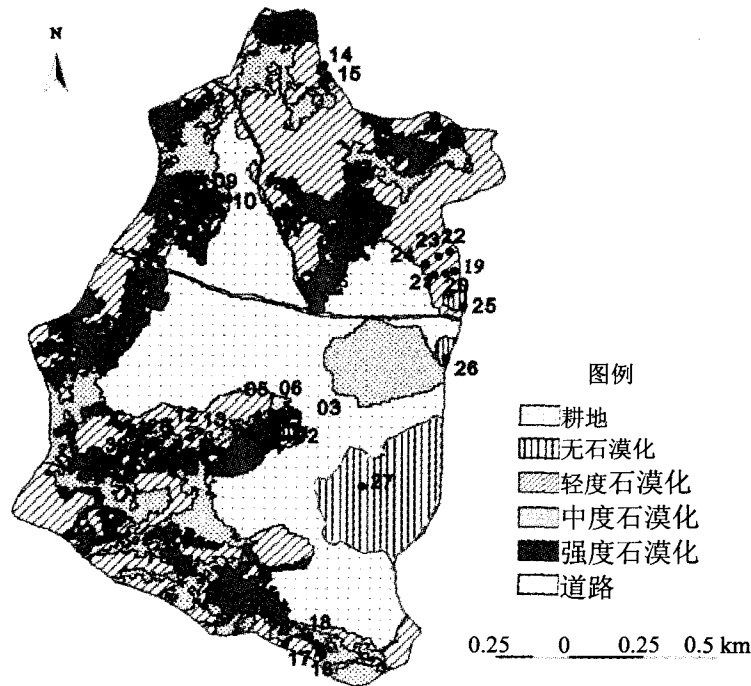


图1 石漠化等级及样地分布图

由多点混合样组成。由于研究区内土层均较浅薄,考虑到样地间的可比性,所有样地均采0~15 cm的表层土,不足15 cm的将土壤厚度作为采样深度。

土壤样品采用常规分析方法分析^[20-21]。土壤样品经自然风干后用四分法取一定量样品,挑出石砾及可见凋落物和根系,用静电法去除植物碎片,用玛瑙碾钵碾细过筛后密封干燥保存。其中,土壤含水量采用烘干法;比重采用比重瓶法;容重、毛管孔隙度、总孔隙度等物理指标采用环刀法测定;有机质用重铬酸钾外加热法测定;土壤颗粒组成采用湿筛加吸管法测定。

3 结果与分析

3.1 土壤结构性状基本特征

从表1可以看出,石漠化过程中,土壤有机质流失,容重变大,密度升高,孔隙度降低,土壤结构呈现紧密化发展趋势;随石漠化程度的加深,土壤气相率明显下降,容积含水率逐渐上升,土壤大孔隙逐渐减少,而小孔隙相应增加,土壤结构发生明显类似压缩的情况;随着空气孔隙的减少和持水孔隙的增加,土壤含水量也表现出随石漠化程度加深而升高的趋势。但除了土壤有机质在轻度石漠化与其他等级石漠化之间,土壤含水量在无石漠化与强度和中度石漠化之间,土壤容重在轻度和强度石漠化间,土壤容积含水率在强度与无石漠化和轻度石漠化间分别存在显著性差异($P < 0.05$)外,各指标在其他样地间并无显著性变化。

表1 样地土壤结构基本特征参数

样地	等级	坡位	干扰方式	土壤类型	含水量/ %	容重/ (g/cm ³)	密度/ (g/cm ³)	孔隙度/ %	固相率/ %	气相率/ %	容积含水率/ %	有机质/ (g/kg)
1	强	上	开垦	黄壤	30.2	1.41	2.61	45.8	54.2	3.0	42.8	44.79
2	强	中	开垦	黄壤	27.3	1.23	2.64	53.3	46.7	19.7	33.6	45.84
3	强	下	开垦	黄壤	28.3	1.35	2.64	48.7	51.3	10.5	38.3	50.48
14	强	中	樵采	黑色石灰土	32.8	1.04	2.47	57.9	42.1	23.7	34.1	151.23
15	强	下	樵采	黑色石灰土	33.7	1.03	2.52	59.1	40.9	24.4	34.7	141.40
16	强	上	放牧	黄壤	34.7	1.31	2.60	49.6	50.4	4.2	45.4	90.82
17	强	中	放牧	黄壤	29.7	1.33	2.61	49.0	51.0	9.5	39.5	99.06
18	强	下	放牧	黄壤	27.0	1.25	2.74	54.9	45.1	21.2	33.7	57.36
4	中	上	放牧	黄壤	28.4	1.14	2.53	54.9	45.1	22.5	32.4	112.61
5	中	中	放牧	黄壤	29.2	1.15	3.80	69.5	30.4	35.7	33.8	93.13

(续表 1)

样地	等级	坡位	干扰方式	土壤类型	含水量/ %	容重/ (g/cm ³)	密度/ (g/cm ³)	孔隙度/ %	固相率/ %	气相率/ %	容积含水率/ %	有机质/ (g/kg)
6	中	下	放牧	黄壤	30.3	1.01	2.59	60.8	39.2	29.9	30.8	63.70
7	中	上	火烧	黑色石灰土	31.8	0.93	2.37	60.7	39.3	30.9	29.8	281.41
9	中	中	火烧	黑色石灰土	33.2	1.00	2.43	58.7	41.3	25.5	33.2	196.21
10	中	下	火烧	黑色石灰土	30.1	0.90	2.49	63.8	36.2	36.7	27.1	261.72
11	中	上	开垦	黄壤	28.6	1.31	2.57	49.0	50.9	11.6	37.4	99.04
12	中	中	开垦	黄壤	30.3	1.21	2.54	52.2	47.8	15.6	36.6	100.27
13	中	下	开垦	黄壤	31.6	1.30	2.62	50.4	49.6	9.3	41.0	60.53
19	轻	上	樵采	黑色石灰土	33.6	0.99	2.42	59.0	41.0	25.5	33.4	248.57
20	轻	中	樵采	黑色石灰土	30.4	0.98	2.25	56.4	43.5	26.6	29.8	274.36
21	轻	下	樵采	黑色石灰土	26.5	0.98	2.42	59.5	40.4	33.5	26.0	240.70
22	轻	上	放牧	黑色石灰土	32.5	0.98	2.43	59.6	40.4	27.7	31.8	150.19
23	轻	中	放牧	黑色石灰土	16.9	1.06	2.43	56.2	43.8	38.2	17.9	284.01
24	轻	下	放牧	黑色石灰土	30.5	1.10	2.47	55.4	44.6	21.9	33.6	260.32
25	无	上	樵采	黑色石灰土	21.7	0.89	2.21	59.8	40.2	40.5	19.3	331.40
26	无	中	放牧	黑色石灰土	25.8	1.00	2.32	56.7	43.3	30.9	25.8	220.93
27	无	中	开垦	黄壤	23.5	1.61	2.63	39.0	61.0	1.1	37.9	48.36

研究区黄壤样地土壤容重、密度、固相率和容积含水率均高于对应的黑色石灰土,而土壤气相率、孔隙度和有机质含量普遍低于黑色石灰土,黄壤各样地土壤结构较对应的黑色石灰土紧密,通透性差,贫瘠化。方差分析表明,研究区黑色石灰土和黄壤间的土壤容重、密度、孔隙度、气相率、固相率、容积含水率和有机质含量均差异显著($P \leq 0.05$),其中,土壤容重、气相率、容积含水率和有机质含量在两类土壤间差异极显著($P \leq 0.01$)。

在不同干扰方式石漠化中,总体而言,土壤有机质、含水量、孔隙度、气相率的变化趋势是开垦<放牧<樵采<火烧,而容重、固相率、容积含水率的变化趋势则与之相反。土壤密度的变化趋势为放牧>开垦>火烧>樵采。土壤有机质和土壤容重除了在火烧样地与樵采样地之间无显著性差异外,在其他干扰方式样地间均存在显著性差异($P \leq 0.05$);土壤孔隙度,固相率和气相率在开垦与放牧、开垦与樵采、开垦与火烧样地间存在显著性差异($P \leq 0.05$);容积含水率仅在开垦与樵采样地间存在显著性差异($P \leq 0.05$),而土壤含水量和土壤密度在各干扰方式样地间均无显著性差异。

3.2 土壤颗粒组成及空间分异特征

从表2可以看出,研究区土壤粒径分布中的粘粒、细粉粒、中粉粒、粗粉粒、细砂粒和粗砂粒含量分别在17.9%~45.2%、2.1%~19.1%、8.7%~22.4%、16.7%~48.2%、0.2%~28.4%和0.2%~5.7%之间变化,平均值分别为29.9%、11.9%、14.6%、30.8%、11.1%和1.6%。变

幅最大的是粗粉粒,达31.5%,最小的是粗砂粒,仅为5.5%,依次为粗粉粒>细砂粒>粘粒>细粉粒>中粉粒>粗砂粒,这可能与研究区土壤流失过程中各粒径颗粒的敏感程度有关,土壤粒径分布的变化幅度从某种意义上可能反映了不同粒径颗粒的流失程度。

从表1、表2和图2可以看出,没有发生退化的土壤本身具有良好的结构性,土壤三相组成和土壤质地都反映了这一基本特征。但随着石漠化发展,土壤呈现出紧密化、粘质化趋势,主要表现为小粒径颗粒的物理性粘粒含量逐渐增加,而大粒径的物理性砂粒逐渐降低,土壤质地明显变粘重。多重比较分析表明,研究区土壤颗粒各粒级含量变化在中度石漠化与强度石漠化之间均无显著性差异,可近似地认为中度石漠化和强度石漠化之间的土壤质地基本无变化。在不同等级石漠化样地中,轻度与无、中度和强度石漠化样地间,土壤颗粒组成中的细粉粒含量均呈现出显著性差异($P \leq 0.05$);轻度与强度石漠化之间的土壤颗粒组成除了粗砂粒含量无显著差异外,其他粒径的颗粒含量在二者之间均有显著性变化($P \leq 0.05$);另外,土壤颗粒组成中的中粉粒含量在强度与无石漠化和轻度石漠化间有显著性变化($P \leq 0.05$),粗砂粒含量则在中度石漠化与无石漠化和轻度石漠化间有显著性差异($P \leq 0.05$)。从总的变化趋势来看,受石漠化程度影响最大的是细小颗粒,不同等级石漠化之间细小颗粒变化的差异明显大于粗大颗粒,即石漠化过程中土壤颗粒变

表2 土壤各粒径颗粒含量组成特征及质地分类

样地	粘粒/%	细粉粒/%	中粉粒/%	粗粉粒/%	细砂粒/%	粗砂粒/%	质地
	<0.001 mm	0.001~0.005 mm	0.005~0.01 mm	0.01~0.05 mm	0.05~0.25 mm	>0.25 mm	
1	24.6	12.5	19.7	36.4	2.4	4.3	重壤土
2	37.9	11.7	15.9	26.5	3.6	4.4	粘土
3	34.8	12.7	17.0	27.6	4.4	3.4	粘土
14	26.7	12.9	15.3	30.6	14.3	0.2	重壤土
15	28.9	14.6	15.8	28.1	12.1	0.4	重壤土
16	45.2	19.1	15.7	19.1	0.6	0.2	粘土
17	39.0	18.0	15.7	22.5	4.6	0.2	粘土
18	35.8	17.5	15.3	27.3	3.3	0.7	粘土
4	31.6	15.4	17.6	26.4	8.4	0.6	粘土
5	36.4	15.1	17.2	30.2	0.4	0.6	粘土
6	42.5	15.2	15.2	26.1	0.2	0.8	粘土
7	23.0	4.4	8.9	45.5	17.0	1.0	中壤土
9	28.9	10.1	14.6	28.0	17.6	0.8	重壤土
10	20.4	4.3	8.7	37.0	28.4	1.1	中壤土
11	23.2	12.8	16.0	34.2	13.2	0.4	重壤土
12	34.7	18.6	17.5	24.0	4.8	0.4	粘土
13	32.8	18.2	22.4	22.4	3.1	1.0	粘土
19	24.1	5.5	11.1	36.6	20.6	2.1	中壤土
20	24.6	9.5	11.9	33.2	19.3	1.5	重壤土
21	20.5	4.4	12.1	37.3	23.0	2.7	中壤土
22	33.0	14.4	16.7	21.1	14.1	0.6	粘土
23	17.9	2.1	11.8	48.2	14.2	5.7	中壤土
24	22.1	2.1	12.8	47.0	14.4	1.4	中壤土
25	27.4	8.1	9.2	40.5	11.9	2.8	中壤土
26	24.6	13.6	14.7	28.3	16.5	2.3	重壤土
27	36.7	17.7	10.4	16.7	15.1	3.3	粘土

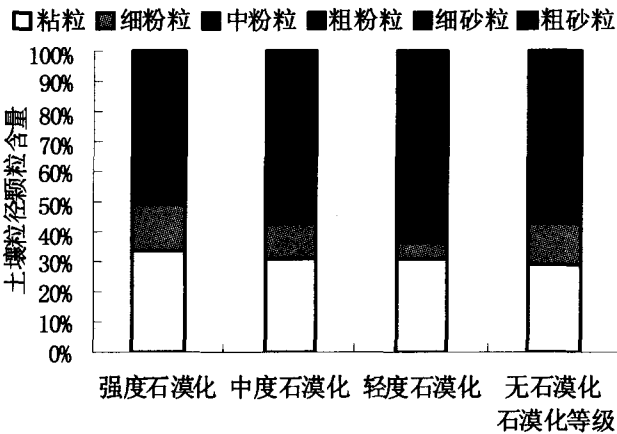


图2 不同等级石漠化土壤颗粒组成变化特征

化的主要趋势表现为细小颗粒的变化,规律为递增。总体而言,土壤颗粒组成变化最敏感的时期为轻度-中度阶段,轻度石漠化是土壤颗粒组成变化的关键时期。

如图3所示,黑色石灰土颗粒组成的物理性粘粒含

量普遍低于黄壤,而物理性砂粒含量则普遍高于黄壤,黄壤粘质化程度普遍较黑色石灰土高,结构更紧密。方差分析表明,除了粗砂粒在两类土壤中的含量无明显差异外,其他粒径的颗粒含量在两类土壤中均存在极显著性差异($P \leq 0.01$)。从图4可以看出,开垦和放牧较樵采和火烧更易使土壤中的小颗粒聚集,大颗粒流失,土壤更易粘质化、板结化,其影响因素总体表现为开垦>放牧>樵采>火烧。多重比较分析表明,各粒径颗粒土壤含量在开垦与放牧、樵采与火烧样地土壤中均无显著差异,说明开垦与放牧、樵采与火烧样地间的土壤质地无明显变化。除此之外,细粉粒、中粉粒和细砂粒含量在开垦与樵采、开垦与火烧和放牧与火烧等不同干扰方式土壤间均呈现出显著性差异($P \leq 0.05$);粘粒和细砂粒含量还在放牧和樵采样地土壤间存在显著性变化($P \leq 0.05$)。分析表明,土壤颗粒组成中各粒径颗粒在不同坡位间无明显变化,也无显著性差异。

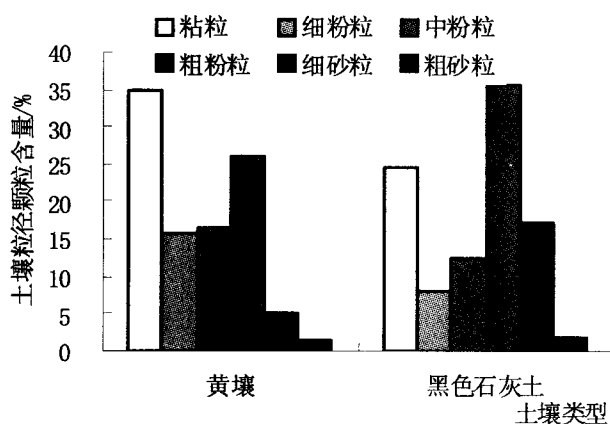


图3 不同土壤类型石漠化土壤颗粒组成变化

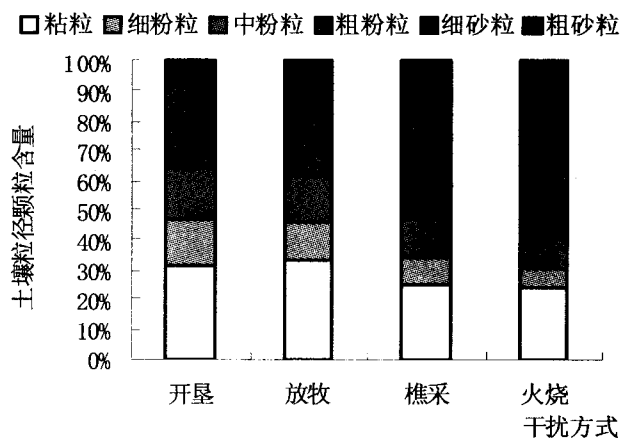


图4 不同干扰方式石漠化土壤颗粒组成变化

表3 土壤各粒径颗粒与土壤基本结构特征参数间的相关性

因子	粘粒	细粉粒	中粉粒	粗粉粒	细砂粒	粗砂粒	含水量	容重	密度	孔隙度	气相率	含水率
粘粒												
细粉粒	0.81**											
中粉粒	0.44*	0.67**										
粗粉粒	0.81**	-0.90**	-0.52**									
细砂粒	-0.76**	-0.69**	-0.71**	0.45*								
粗砂粒	-0.30	-0.41*	-0.20	0.36	0.07							
含水量	0.23	0.24	0.31	-0.30	-0.02	-0.69**						
容重	0.49*	0.60**	0.47*	-0.51**	-0.56**	0.16	-0.09					
密度	0.42*	0.36	0.39	-0.24	-0.53**	-0.15	0.06	0.36				
孔隙度	-0.26	-0.42*	-0.28	0.39*	0.29	-0.27	0.14	-0.85**	0.18			
气相率	0.46*	-0.60**	-0.51**	0.56**	0.46*	0.04	-0.27	-0.90**	-0.09	0.89**		
含水率	0.56**	0.65**	0.62**	-0.60**	-0.53**	-0.33	0.61**	0.73**	0.33	-0.58**	-0.90**	
有机质	-0.73**	-0.81**	-0.74**	0.73**	0.76**	0.12	-0.2	-0.78**	-0.51**	0.52**	0.72**	-0.76**

* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$

3.3 土壤颗粒组成与结构性能之间的关系

从表3可以看出,研究区土壤含水量与粗砂粒含量呈极显著强度负相关关系($P \leq 0.01$, $|r| = -0.688$);土壤容重与粘粒、细粉粒和中粉粒呈中度正相关,与粗粉粒和细砂粒呈中度负相关,其中,与细粉粒、粗粉粒和细砂粒呈现出极显著性相关关系;土壤密度主要受粘粒和细砂粒含量的影响,与粘粒含量呈显著中度正相关,与细砂粒含量呈极显著中等负相关;土壤孔隙度与细粉粒含量呈显著中度负相关,与粗粉粒呈显著中度正相关;土壤孔隙度是影响土壤容重的主要因素,土壤容重与孔隙度呈极显著强度负相关关系;土壤气相率与粗粉粒和细砂粒呈中度正相关,与孔隙度呈极显著强度正相关,孔隙度是影响土壤气相率的主要因素;土壤容积含水率与物理性粘粒、土壤含水量、容重和固相率均呈现出极显著中度以上正相关关系,与粗粉粒、细砂粒、孔隙度和气相率均呈现出极显著中度以上负相关关系,说明土壤容积含水率随其物理性粘粒含量的增加而增大,而随粗粉粒、细砂粒含量的增加而

减小,土壤含水量、容重和固相率随土壤容积含水率的增大而升高,而孔隙度和气相率则随土壤容积含水率的增大而降低。另外,从表3还可以看出,土壤有机质与物理性粘粒、容重、密度、固相率和容积含水率呈极显著负相关关系,与粗粉粒、细砂粒、孔隙度和气相率呈极显著正相关关系,其中,与密度和固相率为中度负相关,与孔隙度为中度正相关,与物理性粘粒、容重和容积含水率为强度负相关,与粗粉粒、细砂粒和气相率为强度正相关,说明土壤有机质是影响土壤颗粒组成的主要因素。其中,小大粒径颗粒随土壤有机质含量的减少而增加,而大粒径颗粒随土壤有机质含量的减少而减少,导致土壤孔隙度和气相率的降低,影响其透水、透气性能。

4 结论与讨论

石漠化的发生发展过程常伴随强烈的土地退化。随着石漠化发展,土壤呈现紧密化、粘质化趋势,主要表现为物理性粘粒含量逐渐增加,物理性砂粒含量逐渐降低,土壤质地明显变粘重。石漠化过程中土壤颗粒变化

的主要趋势表现为细小颗粒的变化,规律为递增。在不同等级石漠化样地中,轻度石漠化土壤细粉粒含量与各等级石漠化土壤间均存在显著差异($P \leq 0.05$),中粉粒在强度与无石漠化和轻度石漠化间存在显著性差异($P \leq 0.05$),粗砂粒在中度与无石漠化和轻度石漠化间均存在显著差异($P \leq 0.05$)。土壤颗粒各粒级含量变化在中度与强度石漠化间均无显著性差异,而在轻度与强度间除了粗砂粒外均有显著性差异($P \leq 0.05$)。总体而言,土壤颗粒组成变化最敏感的时期为轻度-中度阶段,轻度石漠化是土壤颗粒组成变化的关键时期。

土壤颗粒组成受土壤类型和干扰方式的影响。黑色石灰土中的物理性粘粒含量普遍低于黄壤,而物理性砂粒含量则普遍高于黄壤,黄壤的粘质化程度普遍较黑色石灰土高,结构更紧密。除了粗砂粒在两类土壤中的含量无明显差异外,其他粒径的颗粒含量均存在极显著性差异($P \leq 0.01$)。开垦和放牧较樵采和火烧更易使土壤中的小颗粒聚集,大颗粒流失,土壤更易粘质化和板结,其影响因素总体表现为开垦 > 放牧 > 樵采 > 火烧。其中,细粉粒、中粉粒和细砂粒含量在开垦与樵采、开垦与火烧和放牧与火烧等不同干扰方式土壤间均呈现出显著性差异($P \leq 0.05$),粘粒和细砂粒含量在放牧和樵采样地土壤间存在显著性差异($P \leq 0.05$)。由于喀斯特特殊的微地形因素,各粒径颗粒含量在不同坡位间无明显变化,也无显著性差异,受坡位影响很小或基本不受坡位的影响。

土壤结构是土壤功能表现的基础,它的作用主要取决于土壤固体颗粒的性质和土壤孔隙状况,土壤颗粒组成影响着土壤的结构和性能。土壤有机质的降低使得胶结粘连土壤颗粒的物质减少,土壤团聚体形成受阻,抗冲抗蚀能力降低,土粒易分散流失。由于喀斯特区脆弱的生态地质背景,当其植被遭受严重破坏时,出露的岩石在雨滴和地表径流的直接冲刷下,造成土壤严重流失,基岩裸露面积不断扩大,从而加剧了喀斯特石漠化发生的强度和速度。喀斯特石漠化已成为中国西南喀斯特地区诱发重要地质灾害的生态环境问题,严重制约了区域可持续发展,是阻碍当地社会经济发展的关键因素^[22]。喀斯特石漠化过程中,土壤不断遭遇侵蚀,水土流失不仅使土壤质量发生退化,还有可能导致小流域及其下游地区的河床升高,泥沙淤积,严重影响工农业生产和生态环境,给当地和下游居民生产生活带来潜在严重威胁。因此,无论从生态经济,还是从生态安全出发,都必须加强对石漠化区植被恢复的综合治理,特别应该加强坡地的治理和保护力度,控制和恢复石漠化区的土壤退化,减少水土流失。

参考文献

- [1] 廖尔华,张世熔,邓良基,等.丘陵区土壤颗粒的分形维数及其应用[J].四川农业大学学报,2002,20(3):242-245.
- [2] 范燕敏,朱进忠,武红旗.北疆退化荒漠草地土壤颗粒的分形特征[J].草原与草坪,2008(4):10-13,19.
- [3] 龙健,江新荣,邓启琼,等.贵州喀斯特地区土壤石漠化的本质特征研究[J].土壤学报,2005,42(3):419-427.
- [4] 周先容,陈劲松.川西亚高山针叶林土壤颗粒的分形特征[J].生态学杂志,2006,25(8):891-894.
- [5] Scott W T, Stephen W W. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation[J]. Soil Sci. Soc. Am.J., 1989, 53: 987-996.
- [6] Scott W T, Stephen W W. Fractal scaling of soil particles size distributions: Analysis and limitation[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1992, 56:362-369.
- [7] 黄丽,张光远,丁树文,等.侵蚀紫色土土壤颗粒流失的研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(1):35-39,85.
- [8] 常庆瑞,安韶山,刘京.陕北农牧交错带土地荒漠化本质特性研究.土壤学报,2003,40(4):518-523.
- [9] 文海燕,傅华,赵哈林.退化沙质草地开垦和围封过程中的土壤颗粒分形特征[J].应用生态学报,2006,17(1):55-59.
- [10] 莫彬,曹建华,徐祥明,等.岩溶石漠化演替阶段土壤质量退化的预警指标评价[J].水土保持研究,2007,14(3):16-18.
- [11] 唐炎林,邓晓保,李玉武,等.西双版纳不同林分土壤机械组成及其肥力比较[J].中南林业科技大学学报:自然科学版,2007,27(1):70-75.
- [12] Wang S J, Liu Q M, Zhang D F. Karst rocky desertification in southwestern China: geomorphology, land use, impact and rehabilitation [J]. Land Degradation & Development, 2004, 15: 115-121.
- [13] 刘方,王世杰,刘元生,等.喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J].生态学报,2005,25(3):639-644.
- [14] 王世杰.喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J].中国岩溶,2002,21(2):101-104.
- [15] 王世杰,李阳兵.喀斯特石漠化研究存在的问题与发展趋势[J].地球科学进展,2007,22(6):573-582.
- [16] 李瑞玲,王世杰,熊康宁,等.贵州省岩溶地区坡度与土地石漠化空间相关分析[J].水土保持通报,2006,26(4):82-86.
- [17] 林昌虎,朱安国.贵州喀斯特山区土壤侵蚀与环境变异的研究[J].水土保持学报,2002,16(1):9-12.
- [18] 李阳兵,王世杰,李瑞玲.岩溶生态系统的土壤[J].生态环境,2004,13(3):434-438.
- [19] 王世杰,卢红梅,周运超,等.茂兰喀斯特原始森林土壤有机碳的空间变异性与代表性土样采集方法[J].土壤学报,2007,44(3):475-483.
- [20] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978:466-535.
- [21] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:25-200.
- [22] 王世杰.喀斯特石漠化——中国西南最严重的生态地质环境问题[J].矿物岩石地球化学通报,2003,22(2):120-126.