

喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价

刘 方^{1,2}, 王世杰¹, 刘元生², 何腾兵², 罗海波², 龙 健³

(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. 贵州大学环境与资源研究所, 贵阳 550025; 3. 贵州师范大学地理科学系, 贵阳 550004)

摘要:通过对贵州中部喀斯特地区进行植被调查与土壤样品分析,探讨石漠化过程中土壤质量变化及其对生态环境的影响。结果表明:喀斯特石漠化过程中随着植物群落退化度的提高,土壤出现粘质化,有机质含量急剧下降,植物可利用的养分含量减少,提高了石漠化对生态环境影响的潜能;随着植被覆盖率下降、土地垦殖率增加,引起土壤质量明显退化,加剧了石漠化发生的强度和速度。石漠化区土壤有机质、物理性粘粒、有效氮磷钾含量与植被覆盖率、土地复垦率有显著的相关性,以这些参数作为评价指标,初步将喀斯特石漠化过程中土壤质量变化对生态环境潜在影响的程度分为 3 个等级。

关键词:喀斯特;石漠化;土壤质量;环境影响评价

Changes of soil quality in the process of karst rocky desertification and evaluation of impact on ecological environment

LIU Fang^{1,2}, WANG Shi-Jie¹, LIU Yuan-Sheng², HE Teng-Bin², LUO Hai-Bo², LONG Jian³ (1. *National Laboratory of Environmental Geochemistry, Geochemistry Institute of Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China*; 2. *Environment and Resource Institute of Guizhou University, Guiyang 550025, China*; 3. *Geography Department of Guizhou Normal University, Guiyang 550004, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 639~644.

Abstract: In the karst areas of southwestern China, carbonate rock covers about 336000 km². The geological environment is extremely fragile, the area is also overpopulated and the economy is backward. This has led to serious land degradation in the form of karst rocky desertification. Karst rocky desertification is a process of land degradation involving serious soil erosion, extensive exposure of basement rocks, drastic decrease in soil productivity, and the appearance of a desert-like landscape. It is caused by irrationally intensive land use on fragile karst geo-ecological environment. Such rapidly expanding process leads to the diminishing of the biodiversity of the karst ecosystem and thinning the thickness of soil, which can result in environmental disasters in the karst areas of southwestern China. Soil, as a growing media for plants, plays an important role in ecological environment. Therefore, researches on the changes of soil quality, due to degeneration of forests and the decrease of regional vegetation, is of great importance to control rocky desertification and to restore ecological environment of karst areas. Guizhou province, with an area of 176000 km², lies in the centre of the Southeast Asian karst zone. Carbonate rock is widespread and accounts for 62% of the total land area, and karst rocky desertification is a serious problem in this region.

This paper focuses on the changes of soil quality in the process of karst rocky desertification in Guizhou province by investigating the rate changes of vegetable coverage, land reclamation, and exposure of basement rocks, in an attempt to understand and assess the impact of karst rocky desertification on the ecological environment. Soil samples were collected from top soil layer (0~15 cm) in the vegetable-investigation areas. This work is focused on the variations of pH, and the contents of organic matter, clay and major nutrient elements (N, P, K) of the soils. Soil pH was measured in a 1:1 soil to solution ratio using distilled water, and soil texture was determined by the hydrometer method. Available N, P, K was determined using

基金项目:国家自然科学基金资助项目(90202003, 40361004);中国科学院地球化学研究所知识创新工程前沿领域资助项目(KZCX2-105)

收稿日期:2004-06-09; **修订日期:**2004-11-25

作者简介:刘方(1964~),男,贵州省天柱县人,博士,教授,主要从事土壤生态学研究。E-mail:Lfang123@tom.com

Foundation item: the National Natural Science Foundation of China (No. 90202003 and 40361004), the Knowledge-renovation Project of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX2-105)

Received date: 2004-06-09; **Accepted date:** 2004-11-25

Biography: LIU Fang, Ph. D., Professor, mainly engaged in soil ecology. E-mail: Lfang123@tom.com

diffuse method, Olsen method and flame photometry method, respectively. The results showed that, along with the degradation of vegetable communities, the contents of organic matter and available N, P, K reduced significantly, while the content of $<0.01\text{mm}$ clay enhanced. So that the potential of karst rocky desertification impacting on ecological environment was increased, under reducing the rate of vegetable coverage and increasing the rate of land reclamation the soil quality was obviously degrading so as to increase the intensity and the velocity of karst rocky desertification. The results also showed that the contents of organic matter, $<0.01\text{mm}$ clay, and available N, P, K in the soils could be used as primary indices to evaluate the changes of soil quality in the progress of karst rocky desertification and its impact on ecological environment. These indices correlated significantly with the grades of vegetable coverage rates and land reclamation rates, but didn't correlated significantly with the grades of rocky coverage rates.

Using these indices to evaluate the changes of soil quality, the result from cluster analysis showed three groupings in this area: (1) the soils with no potential impact on the ecological environment, wherein the contents of organic matter, available N, P, K were >100000 , >350 , >10 , and $>120\text{mg/kg}$, respectively, and the content of $<0.01\text{mm}$ clay was $40\%\sim 50\%$; (2) the soils with potential impact on the ecological environment, wherein the contents of organic matter, available N, P, K were $50000\sim 100000$, $200\sim 350$, $5\sim 10$ and $>90\text{mg/kg}$, respectively, and the content of $<0.01\text{mm}$ clay was $50\%\sim 70\%$; (3) the soils with obvious impact on the ecological environment, wherein the contents of organic matter, available N, P, K were <50000 , <200 , <5 and $<90\text{mg/kg}$, respectively, and the content of $<0.01\text{mm}$ clay was $>70\%$.

Key words: karst; rocky desertification; soil quality; environmental impact evaluation.

文章编号:1000-0933(2005)03-0639-06 中图分类号:S157.1 文献标识码:A

我国喀斯特山区主要分布于贵州、广西、云南、四川省内,分布面积大约 33.6 万 km^2 ,其中贵州境内的分布面积占 38.7% 。喀斯特地区多为湿润的亚热带季风气候,南方喀斯特森林是一种特殊森林生态系统,其顶级群落为常绿落叶阔叶混交林,生态系统的组成和结构复杂,生态系统的物种多样性和结构多样性较高^[1]。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,加上石灰岩成土速度慢,形成的土壤浅薄,并且土被不连续,土壤蓄水能力弱,植物生长缓慢,生态链易受干扰而中断,生态系统对外界干扰显得脆弱和敏感,系统的抗逆能力、稳定性和自我恢复能力较低^[2,3],在人为干扰及土地不合理利用下,植被覆盖率迅速下降,造成严重的水土流失,生物多样性减少,土壤质量退化,形成奇特的石漠化景观^[4,5]。

喀斯特石漠化是以脆弱的生态地质环境为基础,以强烈的人类活动为驱动力,以土地生产力退化为本质,以出现类似荒漠景观为标志^[4]。目前对于石漠化的特点、成因、生态治理原则以及关于喀斯特土壤质量退化已进行了一些研究^[2~11],但对喀斯特石漠化形成机理和过程的研究主要在生态地质环境、生物群落演变等方面,在宏观上对石漠化有了比较一致的定性认识,即石漠化主要标志是基岩裸露率高、植被覆盖率低、土被连续性差及土层浅薄。然而,仅从宏观上对石漠化过程及程度进行评价存在一定的局限性,在喀斯特地区同时出现岩石出露率高、植被覆盖率高的原生景观。因此,需要从微观上定量的研究石漠化过程中环境质量的变化,才能对石漠化形成机理和过程进行系统的研究,建立完整的评价石漠化程度和潜在危害性的指标体系。本文以贵州中部喀斯特石漠化区作为研究区域,从土壤质量的变化研究石漠化的发生及其演变规律,探讨石漠化过程中土壤质量的变化及其对生态环境的影响,并筛选适合的土壤质量指标对石漠化的生态环境影响进行评价,为喀斯特地区植被恢复、土壤资源利用以及生态恢复提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 调查地区基本概况

本研究调查区分 3 个区域,即北盘江(花江)峡谷区、清镇峰林区和花溪峰丛区。花江峡谷区属亚热带湿热河谷气候,年均温为 $17\sim 18^\circ\text{C}$, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的活动积温在 $5800\sim 6130^\circ\text{C}$,年降雨量为 1200mm 左右;区内是逆断层向斜地质构造,河流深切,海拔变化范围在 $400\sim 1470\text{m}$,成土母岩主要是白云质灰岩、泥质灰岩,其次是白云岩,土壤类型主要是黑色石灰土、黄色石灰土,植被稀疏,森林覆盖率不足 5% ,植被覆盖率为 $10\%\sim 90\%$,岩面出露率(岩石出露的面积占土地面积的百分率,包括有植被覆盖的岩石出露面积)在 $40\%\sim 90\%$,基岩裸露率(没有植被覆盖情况下岩石出露的面积占土地面积的百分率)在 $50\%\sim 80\%$,土地开垦率(长期种植农作物的耕地面积占土地面积的百分率)在 $10\%\sim 70\%$;从整体来看,属中强度喀斯特石漠化区。清镇峰林区、花溪峰丛区属典型的亚热带湿润气候,年均温在 $14.5\sim 15.5^\circ\text{C}$, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的活动积温在 $4800\sim 5600^\circ\text{C}$,年降雨量为 $1100\sim 1200\text{mm}$,海拔变化范围一般在 $1000\sim 1400\text{m}$,成土母岩主要是白云质灰岩、灰质白云岩,其次是白云岩,森林覆盖率在 $5\%\sim 15\%$,植被覆盖率为 $10\%\sim 90\%$,岩面出露率为 $30\%\sim 90\%$,基岩裸露率在 $30\%\sim 60\%$,土地开垦率在 $10\%\sim 70\%$;从整体来看,属轻度喀斯特石漠化区。

本研究采用样地调查的方法,在地形地貌、坡度以及岩性(白云质灰岩和灰质白云岩)相对一致下,对不同植被条件的坡地设置样地(15m×20m)进行植被和土壤调查,在研究区域内共选择了4块阔叶林(乔木)地、12块灌木林地、8块灌丛草地和5块稀疏草地进行土壤样品采集,其中1~11号为花江峡谷区的土壤,12~20号为清镇峰林区的土壤,21~29号为花溪峰丛区土壤(表1);同时对每块样地的主要植物种类进行鉴定,其中乔木树种主要由香椿(*Toona sinensis*)、乌桕(*Sapium rotundifolium*)、香叶树(*Lindera communis*)、密花树(*Rapanea neriiifolia*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、朴树(*Celtis sinensis*)、圆果化香(*Platycarya longipes*)等组成;灌木树种主要由花椒(*Zanthoxylum bungeanum maxim.*)、火棘(*Pyracantha floruneana*)、构树(*Broussonetia papyrifera*)、小果蔷薇(*Rosa cymosa*)、月月青(*Itea ilicifolia*)、悬钩子(*Rubus sp.*)等组成;草本植物主要由五节芒(*Miscanthus floridulus*)、扭黄茅(*Heteropogon contortus*)、狗芽根(*Cynodon dactylon*)、莎草(*Cyperus sp.*)等组成。另外,对每块样地的植被覆盖率、岩面出露率、土地复垦率等景观指标进行调查及分级(按10%为一个等级,从0~100%分10级),具体方法是在调查的样地上,测定出露在土体表面上基岩的面积,计算岩面面积占全部土地面积的百分率;同时测定种植农作物的耕地面积,计算旱地面积占全部土地面积的百分率;另外,在样地内选择样方面积为5m×5m的小区测定植被覆盖率。每块样地的植被覆盖等级(VD),岩面出露等级(RD)、土地复垦等级(LD)见表1。

表1 喀斯特石漠化区土壤理化性质

Table 1 The character of the soils in karst rocky desertification area

土壤 编号 No.	土地利 用方式 Land use pattern	土壤质量指标 Soil quality index										景观指标 Landscape index		
		pH (H ₂ O)	O.M (g/kg)	TN (g/kg)	TP (g/kg)	AK (mg/kg)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	<0.01 mm(%)	<0.001 mm(%)	VD ⑦	RD ⑧	LD ⑨
1	灌木林地①	7.82	147.5	8.07	1.48	305	442	10.5	145	45.2	23.8	9	8	1
2	灌丛草地②	7.18	78.0	3.27	0.81	200	285	5.4	65	69.9	41.8	7	4	3
3	灌木林地①	6.81	92.2	5.2	0.44	288	350	6.8	60	65.9	37.7	8	7	1
4	灌木疏林地③	7.78	48.4	2.91	0.39	237	223	1.4	67	79.2	58.1	3	8	5
5	灌木疏林地③	8.02	32.8	2.36	0.43	250	189	1.9	62	69.9	50.5	2	7	7
6	稀疏草地④	7.71	20.8	1.72	0.70	276	113	2.3	78	79.5	64.2	1	9	3
7	灌木林地①	8.02	44.2	3.29	1.02	300	198	3.6	85	70.4	41.4	3	7	2
8	灌丛草地②	7.75	57.3	3.84	1.10	275	241	2.7	105	63.4	37.6	6	8	1
9	灌丛草地②	7.45	42.7	3.38	1.06	318	195	5.4	70	74.1	52.1	5	6	4
10	灌木疏林地③	8.04	39.1	2.49	0.73	272	158	2.1	90	76.5	50.1	4	7	5
11	稀疏草地④	7.44	17.4	1.78	0.36	245	90	2.5	92	74.5	50.0	1	7	7
12	阔叶林地⑤	7.24	198.8	10.3	1.16	360	508	12.8	175	43.6	22.3	9	8	1
13	阔叶疏林地⑥	7.47	87.85	4.59	0.71	325	268	4.4	112	55.0	27.4	7	9	3
14	灌木林地①	7.60	117.2	6.70	1.71	390	363	6.8	90	64.3	34.1	8	8	2
15	灌丛草地②	6.95	82.4	3.46	0.84	350	236	4.8	145	67.2	33.2	7	4	2
16	灌木林地①	7.45	75.4	4.68	0.94	412	238	5.8	177	71.2	49.8	5	7	1
17	灌木林地①	7.20	56.2	2.61	0.41	400	182	3.2	150	76.5	43.6	3	9	3
18	灌丛草地②	6.49	64.5	3.38	0.46	275	214	7.2	88	71.3	44.1	4	6	5
19	稀疏草地④	6.99	31.9	1.95	0.35	210	135	2.0	65	74.1	48.5	5	8	3
20	稀疏草地④	7.54	33.9	5.05	0.91	205	203	6.0	87	80.7	51.4	1	9	5
21	阔叶疏林地⑥	7.75	100.1	5.29	0.86	380	445	6.2	125	47.6	26.2	9	3	1
22	灌木林地①	7.15	75.2	4.49	0.80	310	275	6.5	160	50.2	28.8	9	7	1
23	灌丛草地②	7.28	55.8	2.75	0.88	330	178	5.2	125	68.2	47.1	7	8	2
24	灌木林地①	6.85	54.7	2.72	0.42	400	177	4.4	185	69.9	50.5	6	5	1
25	灌丛草地②	7.53	84.3	4.43	0.67	265	264	6.8	95	46.6	24.7	8	8	1
26	阔叶林地⑤	7.49	129.1	6.85	1.28	365	419	9.4	115	49.5	28.8	9	7	1
27	灌木林地①	7.10	51.4	2.76	0.59	295	208	4.4	120	65.9	41.8	7	8	4
28	灌丛草地②	7.12	38.1	4.57	0.54	260	212	2.4	145	73.4	47.6	4	9	2
29	稀疏草地④	7.68	18.4	1.82	0.53	190	64	1.8	60	78.9	51.7	1	8	7

* ① Brush land; ② Brush-grass land; ③ Thin brush land; ④ Thin grass land; ⑤ Broad-leaved forest land; ⑥ Thin broad-leaved forest land; ⑦ Vegetable coverage grade; ⑧ Rocky coverage grade; ⑨ Land reclamation grade

1.2 土壤样品采集和测定方法

在4~5月份进行植被和土壤调查时,在每个样方内选取5~8个样点,分别采集29块样地坡面表层土壤(0~15cm)混合样品。土壤样品风干后,研磨通过1mm筛孔,供实验与测试分析。土壤测定项目有:pH值(pH)、有机质(O.M)、全氮(TN)、全磷(TP)、酸溶性钾(AK)、有效氮(N)、有效磷(P)、有效钾(K)和粘粒(<0.01mm, <0.001mm)含量。土壤pH值采用酸度计法、有机质采用重铬酸钾法、全氮采用开氏定氮法、有效氮采用扩散皿法、全磷采用硫酸-高氯酸消煮-钼蓝比色法、有效磷采用Olsen法(NaHCO₃溶液浸提)、酸溶性钾采用热硝酸浸提-火焰光度计法、有效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度计法、土壤颗粒组成采用简易比重计法测定^[12]。实验数据采用DPS软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 喀斯特石漠化过程土壤-植物系统变化及其对生态环境的影响

在人为干扰下南方喀斯特森林普遍退化,其群落演变过程分为顶级常绿落叶阔叶混交林阶段、乔林阶段、灌乔过度阶段、灌木灌丛阶段、灌草群落阶段、草本群落阶段,随着森林群落退化度的增加,群落高度逐渐下降,层次分化简单,形成结构与功能不完整的生态系统^[13]。本研究区目前多数是乔灌、灌木灌丛、灌草群落,局部地区只有零星的草被植物,其数量、盖度均不足以形成一个层次。由于生物群落的演变,土壤的理化性质也发生变化;从表 1 看出,不同群落下喀斯特土壤粘粒含量出现明显的差异,小于 0.01mm 粘粒含量的变化范围达 43.6%~80.7%,小于 0.001mm 的粘粒含量的变化范围在 22.3%~64.2%;可见,不同群落之间土壤质地发生了变化,随着群落退化程度的提高,土壤质地逐渐向粘质化方向发展。喀斯特群落的变化同样使土壤有机质含量发生改变,其变化范围达到 18.4~198.8 g/kg,随着群落的明显退化,土壤有机质含量急剧下降,其原因是喀斯特群落的退化造成生物量下降,使土壤有机质的来源减少;同时由于生景向旱生方向演变,土壤有机质分解速度加快,从而使土壤有机质含量迅速降低。从表 1 还可看出,喀斯特石漠化地区不同群落下土壤主要养分的数量也发生了变化,土壤全氮、全磷含量的变化范围分别是 1.82~10.3g/kg、0.35~1.71g/kg,土壤酸溶性钾含量是 190~412mg/kg,土壤有效氮、磷和钾含量的变化范围分别在 64~508mg/kg、1.4~12.8mg/kg、60~185g/kg,群落退化后土壤主要有效养分的含量出现下降,特别是生长零星草被植物的土壤,有效 N、P、K 含量低于一般植物生长的需求水平,即土壤达到缺素水平,因而土壤养分降低的同时,植物可利用的养分也相应的减少,造成植株低营养的胁迫生长,植株生长速率和生物量明显下降。

可见,随着喀斯特群落退化度的增加,土壤出现粘质化,有机质含量急剧下降,引起土壤板结,使土壤透水能力下降,地表径流强度增加,水土流失风险明显提高;同时地表土壤蓄水能力减弱,相对湿度降低,生境条件向干旱、温度变化剧烈、空气湿度小的严酷生境演变,从而影响植物的种群结构,生物多样性明显减少,土壤质量逐渐退化,增加了生态环境的脆弱性,为喀斯特石漠化创造了条件。因此喀斯特群落的退化,使土壤质量明显退化,其对生态环境影响的潜能也明显提高,使喀斯特石漠化的强度增加,这与一些研究的结论是一致的^[9~11]。

2.2 喀斯特石漠化坡地土壤质量指标与植被覆盖度、岩面出露率和土地复垦率的关系

喀斯特石漠化区人地矛盾突出,人为干扰严重,植被遭受破坏后,造成土地退化、基岩裸露,形成奇特的石漠化景观。另一方面,喀斯特石漠化区人口多,土地负荷压力大,多数土壤开垦为旱地,使农业生态系统以较单一的旱作为主,农业生态系统生态结构和功能单一,不合理的土地利用导致土地系统退化,生物多样性减少,使得喀斯特进一步石漠化。由于小尺度范围内喀斯特小生境的复杂多样性以及土壤分布的随机性,土层厚度变化没有规律性,使不同石漠化程度的坡地土层厚度差异性表现不明显。通过对 29 块样地的调查,石漠化区内土层厚度的变化范围一般在 20~50 cm 之间,植被覆盖率变化范围在 10%~90%,岩面出露率变化范围为 30%~90%,土地复垦率变化范围为 10%~70%。

表 2 喀斯特石漠化区土壤质量指标与植被覆盖度、岩面出露率和土地复垦率的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of soils quality index with the rates of vegetable cover or land reclamation

景观指标 Landscape index	土壤质量指标 Soil quality index									
	pH	O. M	TN	TP	AK	N	P	K	<0.01 (mm)	<0.001 (mm)
VD	-0.246	0.797**	0.654**	0.495**	0.489**	0.804**	0.704**	0.402*	-0.842**	-0.829**
RD	0.197	-0.123	0.056	-0.001	-0.204	-0.225	-0.130	-0.030	0.150	0.165
LD	0.203	-0.621**	-0.566**	-0.469**	-0.598**	-0.624**	-0.545**	-0.565**	0.626**	0.598**

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

相关分析结果表明(表 2),喀斯特石漠化区土壤有机质、氮、磷、钾含量与植被覆盖等级(VD)之间均存在显著的正相关,而粘粒含量与植被覆盖等级之间存在显著的负相关,土壤有机质、粘粒、氮、磷、钾含量与土地复垦等级(RD)之间也存在显著的相关性,但它们与岩面出露等级(LD)的相关性表现不明显。可见,植被覆盖率下降和土地复垦率提高是喀斯特石漠化的重要前提,而岩面出露率的大小并非起到决定的作用。喀斯特石漠化多发生在石灰岩分布地区,由于岩石的结构特点,其岩面出露率一般高于其他地区,大量的风化残余物存在于岩石构造裂隙中,植物根系可以在这些裂隙中生长,地上部分形成连续的植被层,全部覆盖在出露的岩石上,对地表土壤起到保护作用,虽然土被不完整以及土层厚薄不一,但小生境条件复杂多样,留存于石沟、石缝、石槽中的土壤肥力水平高,能提供充足的植物营养,在降雨较丰富的条件下,植物生长茂盛,从而形成良好的生态系统。但是,植被遭受破坏后,局部土壤质量开始退化,零星生长的植物形成生态结构和功能不良的生态系统,使未被植被覆盖的出露岩石直接在雨滴下受到冲刷,出现基岩裸露的景观,同时形成的地表径流造成土壤侵蚀,从而产生石漠化现象;当植被遭受严重的破坏时,大面积的土壤质量出现退化,限制了植物的生长,出露的岩石在雨滴和地表径流的直接冲刷下,造成土壤严重的流失以及生态环境恶化,基岩裸露面积不断扩大,从而使喀斯特石漠化强度明显的增加。

可见,随着植被覆盖率下降、土地垦殖率增加,引起土壤质量明显退化,加剧了石漠化发生的强度和速度,虽然喀斯特石漠化还与坡度以及降雨强度等因素密切相关,但石漠化过程中土壤质量的明显下降是加速生态环境恶化的重要前提;在一定的程度上可用土壤理化常规分析测定值来评估或预测石漠化对生态环境的潜在影响,特别是土壤有机质既可以提供植物需要的养分,又可以直接影响土壤的理化性质,而物理性粘粒的数量能反映土壤质地的变化,有效氮、磷、钾含量水平能反映土壤中植物可利用的主要养分量。因此,在一定的程度上可以考虑采用有机质、物理性粘粒、有效氮磷钾的含量作为数量指标来评价石漠化对生态环境的潜在影响,也可以作为指示石漠化过程中土壤质量变化对生态环境影响的预警指标,来判断喀斯特存在石漠化的可能性。

2.3 喀斯特石漠化过程中土壤质量变化的生态环境影响评价

土壤中氮磷钾数量主要反映土壤养分水平及植物可利用养分量的变化,而有机质和粘粒主要用来表征土壤理化性质的变化,可以根据这些参数的变化判定土壤质量退化的阈值及石漠化对生态环境影响的潜力,评价石漠化过程中土壤质量变化对生态环境的影响。本文选择土壤有机质、物理性粘粒、有效氮磷钾含量作为评价指标,采用 DPS 软件对数据中心化处理,计算距离系数(欧氏距离法),然后选择最短距离法对石漠化区土壤($n=29$)的质量水平进行聚类分析,结果(图 1)表明这些土壤的质量等级可分为三大类型(1、26、21、12 号土壤为一类,4、5、19、6、11、29、10、7、9、20 号土壤为一类,其他号土壤为一类),对这三大类型土壤的理化测定值及相应植被覆盖率、岩面出露率和土地复垦率进行统计,得出不同指标的数值变化范围(表 3)。

表 3 不同土壤质量等级数量指标的变化范围*

Table 3 The ranges of the soils quality index in karst rocky desertification area *

类别 Category	土壤质量指标 Soil quality index					景观指标 Landscape index		
	O.M(g/kg)	N(mg/kg)	P(mg/kg)	K(mg/kg)	<0.01mm(%)	VD	RD	LD
I ($n=4$)	100.1~198.8 (143.9)	419~508 (453)	6.2~12.8 (9.6)	115~175 (140)	43.6~49.5 (46.5)	9(9)	3~8(6)	1(1)
II ($n=15$)	38.1~117.2 (71.4)	128~363 (242)	2.4~7.2 (5.1)	60~185 (122)	46.6~76.5 (65.3)	3~9(6)	4~9(7)	1~5(2)
III ($n=10$)	17.4~48.4 (32.9)	64~223 (157)	1.4~6.0 (2.9)	60~92 (76)	69.9~80.7 (75.8)	1~5(2)	6~9(7)	2~7(4)

* 括号内的数字为平均值 Values in parentheses are average

根据上述土壤质量等级的聚类分析结果,在不考虑极大值和极小值的情况下,结合具体土壤的分析数据(表 1),得出第 1、2、3 类型土壤的有机质变化范围分别是 $>10.0\%$ 、 $10.0\% \sim 5.0\%$ 和 $<5.0\%$,物理性粘粒的变化范围分别为 $40\% \sim 50\%$ 、 $50\% \sim 70\%$ 和 $>70\%$,有效氮的变化范围分别是 $>350\text{mg/kg}$ 、 $350 \sim 200\text{mg/kg}$ 和 $<200\text{mg/kg}$,有效磷的变化范围分别是 $>10\text{mg/kg}$ 、 $10 \sim 5\text{mg/kg}$ 和 $<5\text{mg/kg}$,有效钾的变化范围分别是 $>120\text{mg/kg}$ 、 $>90\text{mg/kg}$ 和 $<90\text{mg/kg}$ 。依据这些土壤质量指标的变化范围,参考土壤肥力等级评价标准^[11],可初步将石漠化过程中土壤质量变化对生态环境潜在影响的程度分为 3 个等级;即第 1 类型土壤有机质含量高、质地适中、氮含量丰富、磷钾含量较高,这类土壤对生态环境未产生明显的影响;第 2 类型土壤有机质含量较高、质地偏粘、氮钾含量较高、磷含量一般,这类土壤对生态环境可能产生一定的影响,应作为喀斯特石漠化的一般治理区;第 3 类型土壤有机质含量一般、质地粘重、氮含量一般、磷钾含量偏低,这类土壤对生态环境可能产生明显的影响,应作为喀斯特石漠化的重点治理区。

综上所述,土壤理化性质测定值的范围在一定的程度上反映了石漠化过程中土壤质量变化对生态环境影响的程度。但是,本文就土壤质量变化对生态环境影响程度划分而得出的 3 个等级,并不代表单独用土壤理化性质的变化进行喀斯特石漠化评价,只不过是土壤理化性质变化常作为衡量生态环境变化的指标,因而把土壤理化性质的变化范围列出作为一个参考数据。而土壤质量的变化除土壤理化性质外,还应考虑土壤的生物学特性,才能全面的了解石漠化过程中土壤质量变化对生态环境的影响。同时,还应考虑植被覆盖率、土地复垦率等,采用综合生态环境指标来对喀斯特石漠化的强度及其生态环境影响进行评价。从本研究结果看,土壤质量指标是评价石漠化对生态环境潜在影响的主要指标之一,但喀斯特地区小生境复杂多样,土被不完

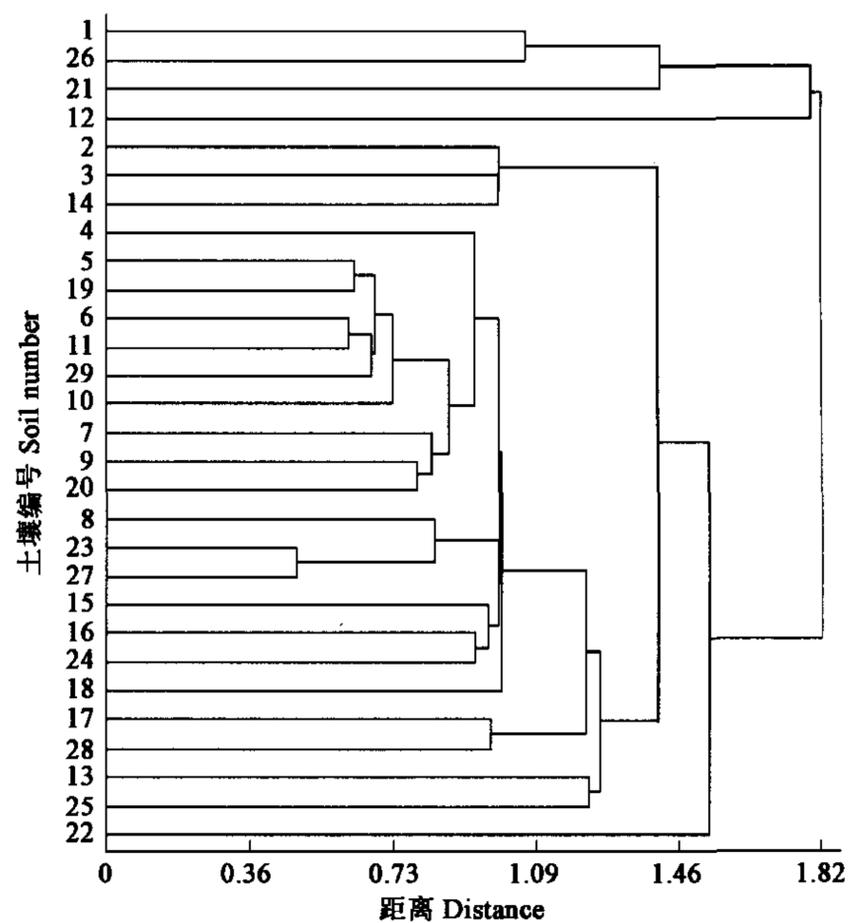


图 1 土壤质量水平聚类分析结果

Fig. 1 The result of cluster analysis of the soils quality

从本研究结果看,土壤质量指标是评价石漠化对生态环境潜在影响的主要指标之一,但喀斯特地区小生境复杂多样,土被不完

整,土壤多留存于石沟、石缝、石槽中,土层厚薄不一,土壤分布没有明显的规律性,空间变异较大,增加了评价的复杂性,这方面还需进行深入的研究。

3 小结

(1)喀斯特石漠化过程中不同植物群落下土壤有机质、粘粒、氮磷钾含量出现差异,随着群落退化度的明显提高,土壤出现粘质化,有机质含量急剧下降,植物可利用养分的数量减少,土壤质量明显退化,提高了喀斯特石漠化对生态环境影响的潜能。

(2)喀斯特石漠化区土壤有机质、粘粒、氮磷钾含量与植被覆盖率、土地复垦率之间均存在显著的相关性,随着植被覆盖率下降、土地垦殖率增加,引起土壤质量明显退化,加剧了石漠化发生的强度和速度。石漠化过程中土壤质量的明显下降是加速生态环境恶化的重要前提,在一定程度上可用土壤有机质、物理性粘粒、有效氮磷钾含量作为指示石漠化过程中土壤质量变化对生态环境影响的预警指标,来判断喀斯特存在石漠化的可能性。

(3)以土壤有机质、物理性粘粒、有效氮磷钾含量作为评价指标,初步将石漠化过程中土壤质量变化对生态环境潜在影响的程度分为3个等级:即第1类型土壤,有机质 $>10.0\%$ 、物理性粘粒 $40\% \sim 50\%$ 、有效氮 $>350\text{mg/kg}$ 、有效磷 $>10\text{mg/kg}$ 、有效钾 $>120\text{mg/kg}$,这类土壤对生态环境未产生潜在的影响;第2类型土壤,有机质 $10.0\% \sim 5.0\%$ 、物理性粘粒 $50\% \sim 70\%$ 、有效氮 $200 \sim 350\text{mg/kg}$ 、有效磷 $5 \sim 10\text{mg/kg}$ 、有效钾 $>90\text{mg/kg}$,这类土壤对生态环境可能产生一定的影响,应为喀斯特石漠化的一般治理区;第3类型土壤,有机质 $<5.0\%$ 、物理性粘粒 $>70\%$ 、有效氮 $<200\text{mg/kg}$ 、有效磷 $<5\text{mg/kg}$ 、有效钾 $<90\text{mg/kg}$,这类土壤对生态环境可能产生明显的影响,应为喀斯特石漠化的重点治理区。

References:

- [1] Zhu S Q. *Ecological research on karst forest (Ⅲ)*. Yuiyang: Guizhou Science and Technology Press, 2003. 145~205.
- [2] Bei Z G, Wan G J. Study on the rate of erosion and its environmental effects in karst areas of Guizhou. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1998, 4 (1):1~7.
- [3] Zhang D F, Wang S J. Study on eco-environmental vulnerability in Guizhou karst mountains. *Geography and Territorial Research*, 2002, 18 (1):77~79.
- [4] Wang S J, Liu Q M, Zhang D F. Karst rocky desertification in southwestern China: geomorphology, land use, and impact and rehabilitation. *Land Degradation & Development*, 2004, 15(1):115~121.
- [5] Wang S J, Li R L, Sun C X, et al. How types of carbonate assemblages constrain the distribution of karst rocky desertified land in Guizhou Province. *Degradation & Development*, 2004, 15(1):123~131.
- [6] Drew D P. Accelerated soil erosion in a karst area: The Burren, western Ireland. *Journal of Hydrology*, 1983, 61(1~3): 113~124.
- [7] Xiong K N. *Study on RS-GIS of karst rocky desertification*. Beijing: China Geology Press, 2002. 95~108.
- [8] Su W Z. The optimum models of status of rocky desertification and harnessing in southwest karst mountains of China. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(2):29~32.
- [9] Yang S T, Zhu Q J. The rate of environmental degradation and natural rehabilitation in typical karst areas of Guizhou. *Journal of Geography*, 2000, 55(4):459~466.
- [10] Lo J, Hang Z Y. Effect land use pattern on the change of soil quality in karst mountains. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(1):76~79.
- [11] Yang S T, Zhu Q J. The research on soil degradation in karst environment. *China Karst*, 1999, 18(2):169~175.
- [12] Lu R K. *The analytical methods for soil and agrochemistry*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [13] Yu L F. Evaluation on degradation of karst forest community and human disturbance. *Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(5):529~532.

参考文献:

- [1] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(Ⅲ). 贵阳: 贵州科技出版社, 2003.
- [2] 白占国, 万国江. 贵州碳酸盐岩区域的侵蚀速率及环境效应研究. 水土保持学报, 1998, 4 (1):1~7.
- [3] 张殿发, 王世杰. 贵州喀斯特山区生态环境脆弱性的研究. 地理学与国土研究, 2002, 18 (1):77~79.
- [7] 熊康宁. 喀斯特石漠化的遥感-GIS典型研究——以贵州省为例. 北京: 地质出版社, 2002.
- [8] 苏维词. 中国西南岩溶山区石漠化的现状成因及治理的优化模式. 水土保持学报, 2002, 16(2):29~32.
- [9] 杨胜天, 朱启疆. 贵州喀斯特地区环境退化与自然恢复速率. 地理学报, 2000, 55(4):459~466.
- [10] 龙键, 黄昌勇. 喀斯特山区土地利用方式对土壤质量演变的影响. 水土保持学报, 2002, 16(1):76~79.
- [11] 杨胜天, 朱启疆. 论喀斯特环境中土壤退化的研究. 中国岩溶, 1999, 18(2):169~175.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析法. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [13] 喻理飞. 人为干扰与喀斯特森林群落退化及评价研究. 应用生态学报, 2002, 13(5):529~532.