

贵州喀斯特山区石漠化治理过程中土壤质量特性研究

罗海波^{1,2}, 宋光煜¹, 何腾兵², 刘丛强³, 刘方², 刘元生², 钱晓刚²,

(1. 西南农业大学 资源环境学院, 重庆 北碚 400716;

2. 贵州大学 环境与资源研究所, 贵州 贵阳 550025; 3. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 通过定位、半定位观测,对贵州喀斯特山区石漠化治理过程中土壤质量特性进行研究,探讨贵州喀斯特山区生态恢复过程中土壤特性以及土壤肥力变化规律。试验结果表明:喀斯特地区石漠化综合治理对土壤物理化学性质的影响较为明显,表现为表层土壤有机质增加,土壤容重降低,孔隙度增加,土壤理化性质改善,保水保肥能力和通道性增加;同时,土壤微生物数量增加,土壤微生物数量增加程度表现为细菌>放线菌>真菌,土壤肥力改善,生产力逐渐提高。

关键词: 喀斯特石漠化; 治理措施; 土壤特性; 微生物数量

中图分类号: S158.3; X171.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2004)06-0112-04

Effect of Soil Properties during Controlling Karst Rocky Desertification Process in Guizhou Province

LUO Hai-bo^{1,2}, SONG Guang-yu¹, HE Teng-bing²,

LIU Cong-qiang³, LIU Fang², LIU Yuan-sheng², QIAN Xiao-gang²,

(1. College of Resources and Environment, Southwest Agricultural University, Beibei, Chongqing 400716; 2. Institute of Resources and Environment, Guizhou University, Guiyang 550025; 3. Geochemistry Institute of Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

Abstract: The soil physical properties and chemistry characteristic had been studied during controlling of karst rocky desertification process in the karst rocky mountainous areas. The result showed that: in controlling rocky desertification process, the numbers of individuals and density of plant increased with the degree of soil meliorated. Soil compaction decreased, and soil porosity, capacity of water and fertility holding increased, soil organic matter increased, these were associated with the soil organic matter contents and plant coverage, the total numbers of bacteria, actinomycetes and fungi increased. Bacteria was dominate group, the numbers was increased; soil bacteria > fungi > actinomycetes. Meanwhile soil fertility and productivity increased.

Key words: karst rocky desertification; controlling model; soil properties; microbe quantity

西南喀斯特山区石漠化是我国西部大开发中生态建设所面临的关键性地域环境问题之一,已成为我国西南喀斯特山区可持续发展的主要障碍之一,我国政府“十五”工作报告中已明确提出“加快推进黔桂滇岩溶石漠化的综合治理”,学术界也对岩溶石漠化的特点、危害及生态治理对策等作了一系列探讨^[1~5]。贵州省地处我国西南喀斯特中心位置,石漠化面积达到5万km²,石漠化治理成为当前生态建设中的“硬骨头”,同时,石漠化地区又是人口密度较高的地区,由于长期不合理的开发以及过度的垦殖,造成石漠化进程加剧,生态环境脆弱。所以石漠化治理成为贵州喀斯特山区生态环境改善的关键所在,也是逆转我省生态环境恶化的主攻点;当前,在石漠化治理工程中取得了不少成功的经验^[6~9],为西南石漠化治理奠定了一定的基础,但是,石漠化治理过程中,仍然存在许多问题^[10]。关于喀斯特地区生态建设报道较多,但喀斯特治理过程中关于土壤质量特征的报告几乎未见报道。本文针对贵州石漠化治理过程中土壤质量的变化特征进行探索,为贵州石漠化生态建设提供依据及理论基础。

1 研究区域与研究方法

1.1 试验区基本情况

1.1.1 清镇项目区 试验地设在清镇市红枫湖镇,属于亚热带季风湿润气候。海拔最高点1452m,最低点

1 240 m。年均温 14~16℃,年降雨量 1 100~1 200 mm,无霜期 278 d。该区水系属于长江流域。项目区内不同程度的石漠化面积占总面积 69.17%,在黔中地区具有代表性。

1.1.2 花江项目区 试验区位于花江峡谷腹地的关岭县板贵乡和贞丰县兴北镇。气候类型主要为中亚热带季风湿润气候,光热资源丰富,年均温 18℃左右,全年降雨量 1 105 mm,区内地表起伏较大,相对高差悬殊,最高海拔 1 473 m,最低海拔 370 m。地面支裂破碎,石漠化严重。全年无霜期在 337 d 以上。该区水系属于珠江流域,可代表喀斯特峡谷地区。

1.2 方法与材料

试验区土壤母质为石灰岩风化物,土壤类型为石灰土。配合项目区大面积的生态治理,在两个项目区内选择不同石漠化程度的样地作为定位观测区。

清镇试验区治理模式如下:即处理 1(试验小区内,播黑麦草种子)、处理 2(试验小区内挖掘鱼鳞坑种植苦

楝苗)、处理 3(挖掘鱼鳞坑种植苦楝苗的小区内撒播黑麦草种子)和处理 4(耕地)。花江试验区治理模式如下:即处理 1(试验小区内种植花椒)、处理 2(花椒地内撒播绿肥)、处理 3(耕地)。试验总共 7 区,基本情况见表 1。

土壤样品采集:根据不同治理方式采集表层土壤。每个试验区设一个 100 m×100 m 的植被样方,土壤采样在样方内进行,采用 S 型混合取样法采集表层土壤(0~20 cm)。在治理前、治理后分别进行采样,治理前土壤采集时间为 1999 年 7 月中旬,治理后采样时间 2003 年 7 月中旬。共采集 50 个表层土壤(0~20 cm)混合样品。采样时进行土壤微生物区系的测定,其余土壤样品风干后,研磨通过 1 mm 筛孔,供实验与测试分析。

有机质、全氮、全磷、有效磷、有效钾测定方法见李庆逵编著土壤理化分析。

土壤容重的测定采用环刀法。采用烘干法测定土壤含水量,用环刀浸水法测定土壤容重、空隙度、毛管最大持水量、土壤饱和含水量、土壤贮水量。

土壤微生物记数^[11]:细菌——牛肉膏蛋白胨琼脂平板表面涂布法;真菌——马丁氏(Martin)培养基平板表面涂布法;放线菌——高氏一号合成培养基平板表面涂布法。

2 研究结果与分析

2.1 石漠化治理对土壤肥力质量特征的影响

喀斯特石漠化是一个历时较长的现实结果,主要表现为植被损失、土壤流失、岩石裸露。贵州喀斯特生态恢复及石漠化治理是一个长期而艰难的任务,笔者认为:南方喀斯特地区地处亚热带湿润气候带,植被恢复的气候条件具备,但长期的水土流失致使土体浅薄,土壤养分流失,土壤的调节功能与缓冲功能下降,导致植被生存的基础环境恶化,植被恢复极为困难。所以,石漠化治理中首要问题是提高该地区土壤的数量与质量,减少肥沃土壤的流失,进而为植被的恢复提供基础的条件。相关资料表明,土地利用方式变化,土壤的肥力情况也发生相应的变化^[7,12]。

通过对跟踪观测地块土壤样品分析与治理前采集的土样样品进行比较,石漠化治理及植被恢复过程中对土壤养分的影响是积极的(表 2)。由表 2 可以看出,植被的恢复对土壤的 pH 值影响不大,因为该区域土壤主要是碳酸盐类母质发育的石灰性土壤,土壤大范围内呈现中性至微碱性,短期内有限的植被面积对土壤酸碱性质的改变影响不大。但是,植被恢复对

土壤的养分产生了积极的影响,1999 年土壤样品的有机质含量为 24.76 g/kg,现今土壤有机质含量为 26.46 g/kg,较 1999 年土壤有机质含量提高 1.70 g/kg。因为在治理过程中,人为的干扰减少,植被得以快速的恢复,

表 1 试验区基本情况

试验小区	海拔(m)	地点	林灌覆盖率(%)	岩石裸露率(%)	石漠化程度	土层厚度(cm)	治理方式
1	1350	清镇试验区	6.12	73.50	严重	35	造林区
2	1200	清镇试验区	7.86	52.30	中度	25	造林植草混合区
3	1275	清镇试验区	6.23	40.30	轻度	25	植草区
4	1150	清镇试验区	3.52	20.60	潜在	30	耕地
5	650	花江试验区	8.85	76.80	严重	20	种植花椒
6	800	花江试验区	6.64	40.80	轻度	24	花椒绿肥混合区
7	1030	花江试验区	2.33	32.60	轻度	22	耕地

注:石漠化程度分级参照文献[16]。

表 2 石漠化治理过程中土壤养分含量及其变化

土地利用方式	统计值	pH 值	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	有效磷(mg/kg)
治理前 (n = 10)	最大值	8.22	38.26	2.14	809.1	149	6.38
	最小值	6.36	11.35	0.93	415.0	62	2.24
	平均值	7.26	24.76	1.42	618.5	105	4.45
	标准差	0.87	13.83	0.73	165.8	41.2	1.63
治理后 (n = 13)	最大值	7.59	38.68	2.31	914.3	153	8.54
	最小值	6.03	14.62	1.01	428.3	71	2.52
	平均值	6.98	26.46	1.62	725.8	110	5.26
	标准差	0.79	12.05	0.68	185.6	32.5	2.68

植被枯落物滞留地表,植被的覆盖作用使水蚀作用减轻,土壤养分流失减少,同时,贵州省气候湿润,有利于凋谢物质以及死亡根系的分解,利于有机质的积累。土壤氮素与土壤有机质表现出相同的变化趋势。1999 年土壤样品的氮素含量为 1.42 g/kg,2003 年土壤样品氮素含量为 1.62 g/kg,较 1999 年土壤氮素含量提高 0.20 g/kg。

治理前土壤磷素含量为 618.5 mg/kg,治理后磷素含量为 725.8 mg/kg,较治理前含量提高 107.3 mg/kg。可能由于土壤侵蚀程度降低,磷素流失减少或与当地农民对经济作物施用磷肥有关。土壤的有效养分在治理后表现出增加的趋势。可能由于地表植被的恢复,使地面受水流冲刷的强度降低,地表径流带走的养分数量减少,使养分得以在土壤中积累。另外,当地农户将花椒种植作为家庭收入的主要渠道,并且已经获得较好的收益,逐步加大肥料(有机肥)的投入,对培肥地力起到积极的作用。

2.2 石漠化治理方式对土壤微生物区系影响

通过对各试验区样品分析,分析结果表明(表 3),不同治理方式下土壤细菌、真菌、放线菌的数量差异较为明显,微生物数量具体表现为:花椒绿肥地>花椒地>林草混作地>草地>林地>耕地。以耕地土壤微生物数量作为对照,草地、林地土壤微生物总数上升 64.05%和 8.93%,其中草地土壤细菌、真菌数量比耕地分别上升 64.91%,51.75%,林地土壤细菌、真菌数量比耕地分别上升 8.99%,27.17%,与耕地对照,林地放线菌数量降低 10.68%,草地放线菌数量升高 16.26%。这可能是由于该林地以新植的生态林为主,在较短时间内林地尚未形成良好的生态效应,而且对于生态林造林后基本无管护,生长相对缓慢,林木枯落物较少的原因。而草地有庞大的根系以及凋谢物,刺激土壤微生物的活动。可见,减少人为的强烈干扰,土壤微生物数量出现逐步增加的趋势。

与耕地相比,花椒地和花椒绿肥套种地土壤微生物总数分别上升 2.62 倍、3.23 倍,其中花椒地土壤细菌、真菌、放线菌数量比耕地分别上升 2.63 倍、1.79 倍、2.27 倍,花椒绿肥套种地土壤细菌、真菌、放线菌数量比耕地分别上升 3.25 倍、1.95 倍、2.65 倍,土壤微生物数量增加程度表现为细菌>放线菌>真菌。其可能原因就是由于当地花椒种植过程中,大量的枯落物返回土壤,土壤微生物总量迅速增加,其中细菌增加的幅度最大,花椒凋落物以及修剪枝条含有较多木质化纤维成分,从而刺激了参与难分解物质转化的放线菌数量增加有关,因此放线菌增加程度大于真菌增加程度。同时,农户对花椒植株进行有效的管护,普遍施用农家肥,提高土壤有机物的数量,致使花椒地的土壤相对肥沃,其微生物活动增强所致。土壤微生物 3 大类群的数量与其发挥的生态功能密切相关,数量的增加反映出土壤质量的提高^[13]。

与耕地相比,花椒地和花椒绿肥套种地土壤微生物总数分别上升 2.62 倍、3.23 倍,其中花椒地土壤细菌、真菌、放线菌数量比耕地分别上升 2.63 倍、1.79 倍、2.27 倍,花椒绿肥套种地土壤细菌、真菌、放线菌数量比耕地分别上升 3.25 倍、1.95 倍、2.65 倍,土壤微生物数量增加程度表现为细菌>放线菌>真菌。其可能原因就是由于当地花椒种植过程中,大量的枯落物返回土壤,土壤微生物总量迅速增加,其中细菌增加的幅度最大,花椒凋落物以及修剪枝条含有较多木质化纤维成分,从而刺激了参与难分解物质转化的放线菌数量增加有关,因此放线菌增加程度大于真菌增加程度。同时,农户对花椒植株进行有效的管护,普遍施用农家肥,提高土壤有机物的数量,致使花椒地的土壤相对肥沃,其微生物活动增强所致。土壤微生物 3 大类群的数量与其发挥的生态功能密切相关,数量的增加反映出土壤质量的提高^[13]。

2.3 石漠化治理过程对土壤物理性状的影响

通过研究表明,石漠化治理过程中对土壤物理性质产生一定的影响。由表 4 看出,治理后试验地土壤容重为 1.19 g/cm³,与未治理前的 1.32 g/cm³ 相比,降低 0.13 g/cm³。石漠化治理过程中,随着植被的逐步恢复,土壤通气程度有积极的影响,治理后土壤总孔隙度为 49.59%,未治理前土壤总孔隙度为 44.41%,土壤总孔隙度提高了 5.18%;其中,治理后土壤毛管孔隙度是 43.16%,未治理前土壤毛管

表 3 不同治理方式土壤微生物区系特征 10³ 个/g 土

治理方式	样本数量	细菌	真菌	放线菌	微生物总量
林地	5	920.43	13.76	11.21	945.4
草地	7	1392.68	16.42	14.59	1423.69
林草混作地	5	1983.36	18.67	22.54	2024.57
花椒地	9	2028.71	33.41	36.43	2098.55
花椒绿肥地	10	2248.83	41.16	40.26	2330.25
耕地	6	844.49	10.82	12.55	867.86

表 4 石漠化治理前后土壤物理性状

土地利用方式	统计值	土壤容重 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	非毛管孔隙度 (%)	毛管孔隙度 (%)	非毛管孔隙度/总孔隙度
治理前 (n=5)	最大值	1.52	51.63	7.85	43.78	15.20
	最小值	1.16	40.51	3.35	37.16	8.27
	平均值	1.32	44.41	5.26	39.15	11.84
	标准差	0.93	4.56	2.09	3.08	3.01
治理后 (n=17)	最大值	1.47	52.78	7.96	44.82	15.08
	最小值	1.17	46.42	6.10	40.32	13.14
	平均值	1.19	49.59	6.43	43.16	12.96
	标准差	0.86	2.73	1.23	2.04	0.89

孔隙度为 39.15%,毛管孔隙度提高了 4.01%,治理后非毛管孔隙度是 6.43%,未治理前土壤非毛管孔隙度为 5.26%,非毛管孔隙度升高了 1.17%,治理前土壤非毛管孔隙度与总孔隙度的比值 11.84%。治理后土壤非毛管孔隙度与总孔隙度的比值 12.96%,升高了 1.12%。这说明石漠化治理过程中,虽然试验区的具体情况有所不同,但随着试验区内植被的恢复,植物根系在土壤中占的比例逐步提高,部分根系可以深入到下层土壤,对土壤起到一定的疏松作用,致使土壤的容重降低,土壤的总孔隙度提高。另外,由于植物根系的生长代谢,分泌大量的有机物质,土壤微生物的积极活动,对土壤的微团粒的形成有重要作用,表现在土壤毛管孔隙度的提高比非毛管孔隙度提高的程度要大。

土壤机械组成在一定程度上反映土壤抗侵蚀的能力。土壤的抗蚀性能越强,则地表径流对土壤的冲刷程度越低^[14,15]。本研究通过对试验区土壤机械组成进行了测定,测定结果(见表5)表明,试验区土壤<0.25 mm的细小颗粒或微团粒的数量呈现增加的趋势,但各粒级增加程度并不一致,以耕地作为对照。0.25~0.05 mm粒级细沙含量增加程度为花椒绿肥地>林草混作地>草地>花椒地>林地,0.05~0.01 mm粒级表现为草地>林草混作地>花椒绿肥地>花椒地>林地。与耕地相比,<0.01 mm土壤颗粒增加程度林地<花椒地<草地<林草混作地<花椒绿肥地。土壤细小颗粒及微团粒的增加,表明土壤的侵蚀程度逐步减弱。

土壤粒级分布的显著变化可以反应出贵州喀斯特山区强烈的水蚀作用,治理后由于植被恢复,在较大程度上使土壤避免了水蚀的影响,土壤进一步向细粒化和团聚化的状况演变。可见,石漠化治理不仅从宏观上改变了当地的面貌,对秀美山川起到积极作用,而且对土壤的物理性状有明显的改善作用。

3 结 论

(1)喀斯特石漠化是我国西南地区面临的根本性地域环境问题之一,成为当地可持续发展的主要障碍之一。通过喀斯特石漠化治理项目带动,群众积极参与,当地植被逐步恢复,岩石裸露率下降。所以,喀斯特石漠化是完全可以防治的。

(2)南方喀斯特地区地处亚热带湿润气候带,植被恢复的气候条件具备,但长期的水土流失致使土体浅薄,土壤养分流失,土壤的调节功能与缓冲功能下降,导致植被生存的基础环境恶化,植被恢复极为困难。所以,石漠化治理中首要问题是提高该地区土壤的数量与质量,减少肥沃土壤流失,为植被恢复提供基础的物质条件。

(3)石漠化治理项目实施过程中,随着植被的恢复,土壤的肥力有所提高,土壤中微生物数量也相应增加,土壤物理化学性质得到一定程度的改善,土壤生态功能逐步提高,对贵州及西南喀斯特地区生态恢复及石漠化治理有着十分重要的指导意义。

参考文献:

- [1] 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): 101-105.
- [2] 屠玉麟. 贵州土地石漠化现状及原因分析[A]. 李箐. 石灰岩地区开发治理[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1996.
- [3] 孙承兴, 王世杰, 等. 碳酸盐岩差异性风化成土特征及其对石漠化形成的影响[J]. 矿物学报, 2002, 22(4): 308-314.
- [4] 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[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 29-32.
- [5] 李林立, 况明生, 蒋勇军. 我国西南岩溶地区土地石漠化研究[J]. 地域研究与开发, 2003, 22(3): 71-74.
- [6] 林风华. 石漠化治理的基本思路及模式初探[J]. 贵州林业科技, 2003, 31(1): 49-51.
- [7] 何腾兵. 贵州喀斯特山区水土流失状况及生态农业建设途径探讨[J]. 水土保持学报, 2000, 14(5): 28-34.
- [8] 苏维词, 朱文孝, 滕建珍. 喀斯特峡谷石漠化地区生态重建模式及其效应[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 57-60.
- [9] 中国科学院地学部. 关于推进西南岩溶地区石漠化综合治理的若干建议[J]. 地球科学进展, 2003, 18(4): 489-492.
- [10] 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.
- [11] 许光辉, 郑洪元主编. 土壤微生物分析手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [12] 陈文贵. 贵州省喀斯特地区解决小流域粮食问题途径[J]. 水土保持通报, 1999, 19(1): 52-55.
- [13] 龙键, 李娟, 腾应, 等. 贵州高原喀斯特环境退化过程土壤质量的生物学特性研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 47-50.
- [14] 何腾兵. 贵州山区土壤物理性质对土壤侵蚀影响的研究[J]. 水土保持学报, 1995(1): 85-95.
- [15] 朱安国, 林昌虎编著. 山区水土流失因素综合研究[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1995.
- [16] 赖兴会. 云南的石漠化土地及其治理策略[J]. 林业调查规划, 2002, 27(4): 49-51.

表5 不同治理方式下土壤机械组成

治理方式	不同粒级组成(%)					
	>0.25mm	0.25~0.05mm	0.05~0.01mm	0.01~0.005mm	0.005~0.001mm	<0.001mm
林地	46.89	23.34	12.71	11.98	3.65	1.43
草地	33.89	24.41	19.78	12.79	5.56	3.57
林草混作地	31.70	25.22	17.84	13.24	6.76	5.24
花椒地	42.07	24.19	13.76	12.39	4.47	3.12
花椒绿肥地	30.09	26.17	16.39	14.63	6.81	5.91
耕地	49.48	22.82	12.12	10.92	3.44	1.22