

喀斯特地区不同土地利用类型土壤侵蚀特征研究

高华端, 孙泉忠, 袁勇

(贵州大学 林学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 探明喀斯特土壤侵蚀特征, 对石漠化过程研究具有重要意义。采用野外调查与室内试验相结合的方法, 通过样品分析、直剪试验与模拟冲刷试验, 研究了典型喀斯特地区不同地类的土壤侵蚀特征。结果表明: (1) 该地区灌丛地土层厚度大于林地和坡耕地的土层厚度; (2) 该区土壤紧实度由小到大的顺序为: 坡耕地 < 灌丛地 < 林地; (3) 在土壤崩解速率及土壤冲刷模数方面, 坡耕地 > 灌丛地 > 林地。整体上, 坡耕地土壤侵蚀特征表现出极强的差异性, 灌丛地与林地间差异性不显著。因而保持与恢复喀斯特地区植被、减少耕作活动是防治土壤侵蚀和控制石漠化的主要途径。

关键词: 喀斯特地区; 土地利用类型; 土壤侵蚀; 特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)02-0092-05

中图分类号: S157.1, F301.24

Characteristics of Soil Erosion for Different Land Types in Karst Areas

GAO Hua-duan, SUN Quan-zhong, YUAN Yong

(College of Forestry, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: Discovering soil erosion characteristics in karst area is significant for studying the processes of rocky desertification. By combing field investigation with experiment and through sample analysis, direct shear test, and simulation scouring test, soil erosion characteristics for different land types in the typical karst area are studied. Results are as follow: Soil thickness on shrub land is greater than forest land and cultivated slope land. Soil compactness degree on cultivated slope land is less than shrub land and on shrub land, less than forest land. By soil slaking rate and scoring modulus, the order of the land types is cultivated slope land > shrub land > forest land. On the whole, soil erosion characteristic on cultivated slope land has a significant difference and there is no significant difference in soil erosion characteristic between shrub land and forest land. Therefore, protecting and recovering vegetation in karst area and reducing cultivation activities are the main approaches to protect soil and control rocky desertification.

Keywords: karst area; landuse type; soil erosion; characteristic

贵州省喀斯特石漠化已成为该地区经济发展的主要障碍因子之一, 石漠化的成因与进程除了受地质历史时期的长期作用外, 在人类社会阶段, 不合理的土地利用及人为影响是石漠化加速的重要因子, 人类造成的土壤加速侵蚀促进了石漠化的进一步发育。

喀斯特地区土壤侵蚀与石漠化研究, 在基于地质条件的成因研究方面已有一些成果^[1-2], 但主要表现在地质历史时期的宏观区域分异; 目前研究的主流仍然是从土壤理化性质出发, 从机理上分析土壤过程与石漠化过程^[3-8]。同时, 喀斯特地区土壤侵蚀的研究也有一些成果, 有些学者从岩性、地貌、人类活动

等方面详细剖析了土壤侵蚀性退化的成因机理^[9], 利用3S技术评价石漠化地区土壤侵蚀风险性^[10], 测验和计算出了喀斯特区土壤可蚀性K值^[11]。这些研究均在不同程度上揭示了土壤侵蚀与石漠化成因及本底条件, 但仍无法反映喀斯特地区土壤侵蚀的总体特征以及土壤侵蚀与石漠化的关系。人类活动的影响主要表现为土地利用方式的变更, 不同地类对土壤侵蚀的影响方面的研究仅见少量报道^[12-13], 且研究指标较为单一, 整体上这方面研究仍显薄弱。

本研究以喀斯特地貌发育较为典型的贵阳市为研究区域, 从不同地类的土层厚度、土壤力学性能(紧

收稿日期: 2009-08-22

修回日期: 2009-11-15

资助项目: 贵州省科学技术基金项目“喀斯特地区土壤侵蚀与石漠化”[黔科合J字(2007)2153号]; 贵州大学引进人才项目“贵州省喀斯特地区岩性空间分异对土壤侵蚀的影响”

作者简介: 高华端(1965—), 男(汉族), 贵州省织金县人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为区域水土保持与环境。E-mail: gdghd110@163.com, ghd520ylyl@163.com.

实度、土壤内摩擦角)、土壤崩解性及抗冲性等指标综合反映喀斯特地区土地利用方式对土壤侵蚀的影响,揭示人类开垦过程对土壤侵蚀的加速作用,阐明土壤侵蚀过程与石漠化的关系,研究结果可为喀斯特地区石漠化治理提供科学参考。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

贵阳市位于贵州省中部偏北,地处东经 $106^{\circ}07' - 107^{\circ}17'$,北纬 $26^{\circ}11' - 27^{\circ}22'$,地处云贵高原的东斜坡,总面积 $8\,034\text{ km}^2$ 。地形、地貌走势大致呈东西向延展,地势起伏较大。喀斯特地貌发育,既有高原山地、丘陵、盆地、河谷、台地等地形,最高海拔为 $1\,762\text{ m}$,最低 506 m 。区内气候具有明显的高原性季风性气候特点。温和湿润,雨量充沛,年均降雨量 $1\,200\text{ mm}$,年均气温 $15.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。区内地层出露较全,喀斯特地貌多发育于寒武系娄山关群(\in_{2-3ls})、奥陶系中上地层(O_{2-3})、石炭系(C)、二叠系的栖霞组(P_{1q})和茅口组(P_{1m})以及三叠系(T)地层上,主要岩性为纯灰岩、泥灰岩、纯白云岩及泥质白云岩。

1.2 研究方法

根据黔中地区碳酸盐类岩石的分布特点,石灰岩区主要为三叠系下统的大冶组(T_{1d})、石炭系上统马坪组(C_{3m})、二叠系下统栖霞组(P_{1q})和茅口组(P_{1m}),白云岩分布区主要为三叠系下统安顺组(T_{1a})、中统贵阳组(T_{2g})和花溪组(T_{2h}),土壤类型为石灰土。按坡耕地、灌丛地和林地这3种土地利用现状布置样地进行土壤剖面调查、试样测定分析、剪切试验及室内冲刷模拟试验,实测不同地类土壤的理化性质、土力学特性、土壤崩解性及冲刷模数等指标。共计调查坡耕地样地17个,灌丛地16个,林地9个。坡耕地取样深度均为 20 cm ,灌丛地和林地按土壤剖面层次取样。

1.2.1 喀斯特地区土壤土力学特性 土壤的土力学特性是影响土壤侵蚀的直接因素,是受土壤理化性质控制的综合指标,因而能直接体现土壤抗蚀特性。

采用土壤紧实度及土壤内摩擦角作为土壤土力学性质指标。土壤紧实度用浙江农业大学的紧实计在土壤剖面上分层次以垂直于剖面的方向测定,单位为 g/cm^3 。同时,用美国DICKKEY-john 6100型紧实度仪进行对照测定,单位为kPa。采用直剪仪在室内对土壤剖面不同层次所取的原状土剪切样进行不同荷载下的剪切试验,利用库伦定律,测定土壤内摩擦角。

1.2.2 土壤崩解性 土壤的崩解性可以反映土壤在抗蚀抗分散方面的特性,是土壤侵蚀特性的一个综合指标。具体测定方法如下:(1)在野外土壤剖面不同层次取 $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 的原状土崩解样;(2)室内将崩解样置于自制的带浮标铁丝网上,放入静水中崩解;(3)测定土样崩解时间与崩解量,计算土样崩解速率。

1.2.3 冲刷试验 针对喀斯特地区不同地类及不同土壤剖面层次,利用冲刷样取样器取原状土冲刷样,在室内,用原状土冲刷水槽以 $30\text{ m}/\text{s}$ 的流量进行冲刷试验,测定单位时间的土壤冲刷量,计算冲刷模数。

土力学特性、土壤崩解及冲刷模数均属受土壤理化性质影响的综合指标,能够在总体上体现土壤的侵蚀特征。通过对以上实验数据的整理,利用统计分析方法,进行单因素多组比较,研究不同地类对这些指标的响应,进而阐明人类耕作对土壤侵蚀与石漠化的加速作用。

2 结果与分析

通过对不同地类土层厚度,不同土层的紧实度、内摩擦角、土壤崩解速率、冲刷模数等指标的测定,按指标归类得到土层厚度、土壤力学性能、抗蚀抗冲性统计资料(表1)。

在原始数据统计的基础上,进行3类土地利用现状各类指标的组间差异性检验,得到表2所示结果。由表中可见,整体上,不同地类间在土层厚度、力学性能及土壤抗蚀抗冲性方面均有显著的差异。

2.1 不同地类发育土壤的土层厚度

土层厚度是喀斯特地区土壤侵蚀的典型指标,它不仅体现了不同地类上成土的差异,更在很大程度上反映了土壤侵蚀的现状与结果。根据表1—2,除了坡耕地与灌丛地间土层厚度差异显著外,其余组间(坡耕地与林地、灌丛地与林地)差异并不显著。这一现象说明在喀斯特地区受到人为活动影响较小的灌丛地土层状况具有较强的完整性,厚度最大,而受人为活动影响强烈的坡耕地土壤侵蚀强烈,土层较薄,林地则由于受到一定程度的人为影响,其土层厚度介于前两者之间。

整体而言,喀斯特地区土壤土层较薄,多在 $30 \sim 50\text{ cm}$ 之间。3种地类的平均土层厚度为:灌丛地($42.437\,5\text{ cm}$) $>$ 林地($32.777\,8\text{ cm}$),坡耕地($30.647\,1\text{ cm}$)。由此可见,仅对土壤侵蚀而言,喀斯特地区人工林地并不是最佳的水土保持措施,而恢复天然喀斯特灌丛才是理想途径。

表 1 喀斯特地区不同地类土壤侵蚀特征指标统计

指标	统计描述	地类		
		坡耕地	灌丛地	林地
土层厚度/cm	样本数	17	16	9
	平均数	30.647 1	42.437 5	32.777 8
	标准差	16.054 4	12.904 6	12.988 2
	标准误	3.893 8	3.226 2	4.329 4
A 层土壤紧实度(浙江农大紧实计)/(g·cm ⁻³)	样本数	15	16	10
	平均数	2.297 3	4.361 9	6.008 0
	标准差	2.282 0	1.812 8	3.349 4
	标准误	0.589 2	0.453 2	1.059 2
B 层土壤紧实度(浙江农大紧实计)/(g·cm ⁻³)	样本数	15	17	8
	平均数	2.297 3	7.248 8	11.337 5
	标准差	2.282 0	3.543 6	10.092 4
	标准误	0.589 2	0.859 5	3.568 2
A 层土壤紧实度(DICKEY-john 6100 型紧实计)/(kPa)	样本数	17	17	10
	平均数	534.882 4	914.117 6	1 075.000 0
	标准差	171.063 2	227.930 6	223.730 0
	标准误	41.488 9	55.281 3	70.749 6
B 层土壤紧实度(DICKEY-john 6100 型紧实计)/(kPa)	样本数	17	17	8
	平均数	534.882 4	1 035.470 6	1 137.000 0
	标准差	171.063 2	178.209 9	299.170 8
	标准误	41.488 9	43.222 2	105.772 8
A 层土壤内摩擦角/(°)	样本数	17	17	9
	平均数	17.912 0	17.926 1	23.634 9
	标准差	5.078 9	6.273 8	8.088 0
	标准误	1.231 8	1.521 6	2.696 0
B 层土壤内摩擦角/(°)	样本数	17	16	5
	平均数	17.912 0	17.873 8	24.932 2
	标准差	5.078 9	5.081 9	9.212 4
	标准误	1.231 8	1.270 5	4.119 9
A 层土壤崩解速率/(cm ³ ·s ⁻¹)	样本数	8	14	10
	平均数	0.945 6	0.104 2	0.051 1
	标准差	1.558 0	0.220 9	0.056 5
	标准误	0.550 8	0.059 0	0.0179
B 层土壤崩解速率/(cm ³ ·s ⁻¹)	样本数	8	12	7
	平均数	0.945 6	0.183 9	0.041 4
	标准差	1.558 0	0.162 9	0.086 4
	标准误	0.550 8	0.047 0	0.032 7
A 层土壤冲刷模数/(g·cm ⁻² ·s ⁻¹)	样本数	14	15	9
	平均数	88.604 3	27.540 0	18.144 4
	标准差	105.388 4	27.660 2	15.515 2
	标准误	28.166 2	7.141 8	5.171 7
B 层土壤冲刷模数/(g·cm ⁻² ·s ⁻¹)	样本数	14	11	7
	平均数	88.604 3	18.518 2	8.842 9
	标准差	105.388 4	28.521 7	4.889 1
	标准误	28.166 2	8.599 6	1.847 9

表 2 基于各类指标的不同地类组间差异性检验

指 标	坡耕地与灌丛地	坡耕地与林地	灌丛地与林地
土层厚度	显著	不显著	不显著
A 层土壤紧实度(浙江农大紧实计)	显著	极显著	不显著
B 层土壤紧实度(浙江农大紧实计)	显著	极显著	不显著
A 层土壤紧实度(DICKEY-john 6100 型紧实计)	极显著	极显著	不显著
B 层土壤紧实度(DICKEY-john 6100 型紧实计)	极显著	极显著	不显著
A 层土壤内摩擦角	不显著	显著	显著
B 层土壤内摩擦角	不显著	显著	显著
A 层土壤崩解速率	显著	显著	不显著
B 层土壤崩解速率	显著	显著	不显著
A 层土壤冲刷模数	显著	显著	不显著
B 层土壤冲刷模数	显著	显著	不显著

2.2 土壤紧实度

土壤紧实度是较为重要的土力学性质,是受土壤机械组成、有机质含量及土壤水分等因子影响的综合指标,它直接影响到土壤的可蚀性能与抗蚀能力。在一定意义上,土壤紧实度可以直接反映土壤的抗蚀特性。

从表 2 的统计结果可以看出,无论采用浙江农大的紧实计还是美国 DICKEY-john 6100 型紧实计进行测定,对于 A 层土及 B 层土,整体上均表现为:坡耕地<灌丛地<林地,坡耕地土壤紧实度只相当于林地土壤的 1/3~1/4。同时,坡耕地与灌丛地之间土壤紧实度差异显著,坡耕地与林地之间差异极显著,而灌丛地与林地间差异不显著,这充分说明了人为耕作活动对土壤紧实度的影响,即人为耕作造成了土壤力学性能的下降,加速了土壤侵蚀与石漠化过程。因而,喀斯特地区水土保持与石漠化治理过程中应尽量减少对原状土的破坏,应保持土壤原有的力学性质。

在 A 层土与 B 层土的对比方面,由于坡耕地不分 A 层与 B 层,不论灌丛地还是林地, B 层的紧实度均高于 A 层。这体现了植被系统、有机质等因素对土壤力学性质的影响。

2.3 土壤内摩擦角

土的内摩擦角反映了土的摩擦特性,一般包含两个部分:土颗粒的表面摩擦力,颗粒间的嵌入和连锁作用产生的咬合力。内摩擦角影响土体的抗切强度及土壤抗冲刷能力。

通过喀斯特地区土壤直剪试验(表 1),可以知道土壤内摩擦角相对较为稳定,不论是 A 层土还是 B 层土,不论是坡耕地还是灌丛地,内摩擦角均在 $17^{\circ} \sim 18^{\circ}$ 之间,无明显差异,并比红黏土的内摩擦角 ($7^{\circ} \sim 13^{\circ}$ 之间)^[14] 略高。但对于林地而言,内摩擦角较高,

可达 $23^{\circ} \sim 25^{\circ}$,这说明在其他条件相同的情况下,林地土壤的抗剪强度及抗冲刷能力比坡耕地及灌丛地要强。

2.4 土壤抗蚀抗冲性

土壤抗蚀性主要体现为土体抵抗水分散悬浮的能力,是土壤侵蚀的重要特征指标,在此用 $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 的原状土在静水中的崩解速率表示;土壤抗冲性表示方法较多,且难有统一的指标,本研究采用在相同试验条件下原状土冲刷模数表示,用以反映不同地类间土壤在土壤侵蚀量方面的差异,冲刷模数属综合性指标。

由试验结果(表 1—2)分析看出,整体上,不论 A 层或 B 层土,坡耕地土壤在崩解速度及冲刷模数方面均与灌丛地和林地存在显著差异,表现为极易分散与流失严重的特点。在土壤崩解速率方面,坡耕地 ($0.9456\text{ cm}^3/\text{s}$) > 灌丛地 (A 层: $0.1042\text{ cm}^3/\text{s}$, B 层: $0.1839\text{ cm}^3/\text{s}$) > 林地 (A 层: $0.0511\text{ cm}^3/\text{s}$, B 层: $0.0414\text{ cm}^3/\text{s}$)。灌丛地及林地 A, B 层间土壤崩解速率无显著差异。

在土壤冲刷模数 [$\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$] 方面,坡耕地 (88.6043) > 灌丛地 (A 层: 27.5400 , B 层: 18.5182) > 林地 (A 层: 18.1444 , B 层: 8.8429)。对于灌丛地与林地, A 层土壤冲刷模数大于 B 层。同时,灌丛地与林地在土壤崩解速率及冲刷模数方面均无显著差异。

3 结 论

(1) 在喀斯特地区,无论是土层厚度、土壤力学性质还是土壤抗蚀抗冲性方面,相对于灌丛地和林地,坡耕地均表现为较为显著的差异性,具有土层浅薄,紧实度小(相当于林地土壤的 1/3~1/4),崩解迅速(相当于林地与灌丛地的 10~20 倍)及易于冲刷流

失(相当于林地与灌丛地的 3~5 倍)的特点。

(2) 林地与灌丛地在土壤侵蚀总体特征方面差异不显著,具有相近的水土保持功能。

(3) 相同地类不同土壤层次在土壤侵蚀方面具有明显差异,A 层土紧实度相对较小,冲刷模数较大。

[参 考 文 献]

- [1] 郑永春,王世杰. 贵州山区石灰土侵蚀及石漠化的地质原因分析[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 461-465.
- [2] 高华端. 贵州岩溶地区地质条件对水土流失的影响[J]. 山地农业生物学报, 2003, 22(1): 20-22.
- [3] 龙俐,熊康宁,王代懿,等. 贵州花江喀斯特峡谷水土流失及治理效果[J]. 贵州师范大学学报:自然科学版, 2005, 23(3): 13-18.
- [4] 李新爱,肖和艾,吴金水,等. 喀斯特地区不同土地利用方式对土壤有机碳、全氮以及微生物生物量碳和氮的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1827-831.
- [5] 龙健,李娟,邓启琼,等. 贵州喀斯特山区石漠化土壤理化性质及分形特征研究[J]. 土壤通报, 2006, 37(4): 635-639.
- [6] 蒋天明,魏朝富,谢德体,等. 贵州中部喀斯特地区黄壤持水性能的研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 25-29.
- [7] 覃勇荣,岑忠用,刘旭辉,等. 桂西北石漠化地区不同植被恢复模式土壤性状的初步研究[J]. 河池学院学报, 2006, 26(5): 34-41.
- [8] 张继光,陈洪松,苏以荣. 喀斯特地区典型峰丛洼地表层土壤水分空间变异及合理取样数研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 114-117.
- [9] 苏维词. 贵州喀斯特山区的土壤侵蚀性退化及其防治[J]. 中国岩溶, 2001, 20(3): 217-222.
- [10] 万军,蔡运龙,路云阁. 喀斯特地区土壤侵蚀风险评价:以贵州省关岭布依族苗族自治县为例[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 148-153.
- [11] 高华端,李锐. 喀斯特地区原状土的可蚀性[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(5): 1-4.
- [12] 张素红,李森,李红兵. 粤北石漠化地区土壤侵蚀初步研究[J]. 中国岩溶, 2006, 25(4): 280-284.
- [13] 吴秀芹,蔡运龙,蒙吉军. 喀斯特山区土壤侵蚀与土地利用关系研究:以贵州省关岭县石板桥流域为例[J]. 水土保持研究, 2005, 12(4): 46-48, 77.
- [14] 毕庆涛,姜国萍,丁树云. 含水量对红黏土抗剪强度的影响[J]. 地球与环境, 2005, 33(3): 144-147.
- (上接第 91 页)
- [15] 林燕. 松花江流域降雨-径流侵蚀力研究[D]. 北京:北京师范大学, 2004: 26-28.
- [16] 焦剑,谢云,林燕,等. 东北地区融雪期径流及产沙特征分析[J]. 地理研究, 2009, 28(2): 333-344.
- [17] 刘嘉麒. 东北地区有关水土资源配置、生态与环境保护和可持续发展的若干战略问题研究(自然历史卷): 东北地区自然环境历史演变与人类活动的影响研究[M]. 北京:科学出版社, 2007: 53-59.
- [18] 田广,李仁淑. 勃利县小型水库现状及对策[J]. 吉林水利, 2008(5): 65-66.
- [19] 肖鹏云,张连翔,李晶东. 倭肯河泥沙特性分析[J]. 黑龙江水利科技, 2009, 37(3): 88-89.
- [20] 范昊明,蔡强国,王红闪. 中国东北黑土区土壤侵蚀环境[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 66-70.
- [21] Walling D E, Fang D. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers[J]. Global and Planetary Change, 2003, 39: 111-126.