

## 喀斯特小流域不同土地利用方式土壤物理性状分析

苏广实<sup>1,2</sup>

(1. 广西经济管理干部学院贸易经济系, 广西南宁 530007; 2. 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, 贵州贵阳 550002)

**摘要** 以广西都安澄江喀斯特小流域为研究单元, 分析了流域不同土地利用方式下土壤主要物理性质的变化。结果表明: 随着自然林地、灌丛地、灌草丛地、草地、人工林地、梯化旱地、旱地、坡耕地转变, 土壤容重、pH 呈增加趋势, 而土壤含水量、土壤总孔隙度、电导率逐渐降低。土壤电导率对不同土地利用方式的响应程度最强烈, 土壤容重、含水量和总孔隙度的响应程度居中, pH 最小。在不同土地利用方式下, 土壤总孔隙度、含水量、电导率及 pH 的变化均与土壤容重的变化有关。随着土壤容重的增加, 总孔隙度和含水量均减少, 电导率降低, 而 pH 升高。综合分析土壤物理性质各项主要指标, 发现自然林地土壤物理性质最优, 灌丛地、灌草丛地、草地、人工林地、退耕地的土壤物理性质次之, 梯化旱地、旱地、坡耕地最差。

**关键词** 喀斯特; 澄江小流域; 土地利用方式; 土壤物理性质

**中图分类号** S151.9<sup>2</sup> **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2012)14-08130-03

## Analysis on Physical Features of Karst Small Watershed Soil under Different Land Uses

SU Guang-shi (Department of Trade Economy, Guangxi Economic Management Cadre College, Nanning, Guangxi 530007)

**Abstract** With the karst small watershed of Chengjiang in Du'an County as the research unit, the changes in the physical properties of soil under different land use patterns were analyzed. As indicated by the results, soil bulk density and pH are increasing while the soil water content, the total porosity and electrical conductivity of soil are gradually reducing along with the natural woodland converting to shrub land, irrigation of bushes and grass, artificial forest, ladder dry lands, dry land, sloping cultivated land. Electrical conductivity responds the strongest under different land uses, while the level of response for soil bulk density, water content and total porosity are moderate, while that of pH is minimal. Under different land uses, the changes of soil porosity, water content, electrical conductivity and pH are related to the changes of soil bulk density, with the increase of soil bulk density, total porosity and water content all reduce, the conductivity reduces, too, but the pH increases. Comprehensive analysis of main indicators of soil physical properties found that the soil physical quality of natural woodland is optimal, that of shrub land, irrigated grass, lawn, artificial soil and return cultivated land are in the second grade, and that of ladder dry land, dry land and sloping farmland are the lowest.

**Key words** Karst; Small watershed of Chengjiang; Land use pattern; Physical properties of soil

土地利用是影响土壤变化最普遍、最直接、最深刻的因素<sup>[1]</sup>。不同的土地利用方式影响着土壤的理化性质<sup>[2-5]</sup>、土壤质量<sup>[6-7]</sup>。近年来, 国内研究主要集中在集约农业区、干旱区、低山丘陵区 and 自然保护区<sup>[8]</sup>。与非喀斯特地区相比, 喀斯特土壤的成土环境特殊, 成土过程缓慢, 土层薄, 极易受到不可逆转的破坏。长期以来人类不合理的土地利用、过度垦殖, 已造成石漠化面积迅速扩大, 生态环境日益恶化。目前, 一些学者围绕不同土地利用方式对喀斯特土壤水分<sup>[9-10]</sup>、养分<sup>[11-12]</sup>、质量<sup>[13]</sup>等的影响进行了探讨, 为指导喀斯特地区生态恢复起到积极的作用。但, 以小流域为单元研究不同土地利用方式对喀斯特土壤理化性质的影响还较为少见。以小流域为单元的水土流失综合治理, 是我国在长期水土保持工作中总结出来的一条宝贵经验, 是水土保持生态建设的基础和核心<sup>[14]</sup>, 同样是石漠化综合治理的重要单元。土壤物理性质作为土壤环境的一部分, 对植被恢复有着极其重要的作用。土壤物理性状是土壤结构状况、养分状况、持水能力、保水能力及渗透能力的综合反映, 因此良好的土壤物理性状对涵养水源、保持水土、增强土壤抗蚀、抗冲性能有重要意义。笔者以喀斯特典型小流域——澄江小流域为研究单元, 分析不同土地利用方式下土壤含水量、容重、总孔隙

度、pH 和电导率的变化规律, 以期对喀斯特山区寻求最佳的土地利用结构和石漠化综合治理提供有价值的参考。

## 1 材料与方法

**1.1 研究区概况** 广西都安县澄江小流域是广西喀斯特石漠化治理生态系统恢复演替典型区域。流域位于广西中部, 都安县的中南部, 马山县以北的红水河段。澄江发源于大兴乡九顿村地下河出口处, 向南流经大兴、高岭、澄江等乡镇, 至红渡村汇入红水河, 流程 41 km。地处 107°46'19"~108°18'50"E, 23°48'48"~25°24'30"N, 流域面积 986 km<sup>2</sup>。流域上、中、下游分布着中峰丛洼地、低峰丛洼地、峰林谷地、峰丛谷地、河谷地貌、土山丘陵等地貌类型。小流域属亚热带季风气候区边缘, 光热资源丰富, 年均气温 19.6 °C, 最冷月均温 12~13 °C, 全年实际有霜日在 3 d 以下; 最热月均温约 28 °C, 绝对高温 38 °C。年均降水量近 1 700 mm, 时空分布不均且降雨强度较大, 集中 5~8 月, 占全年雨量的 80% 以上, 而且多为大雨或暴雨, 地表产流容易, 也易于随着裂隙直接流入地下, 导致地表水流失, 也可能污染地下水源。一旦停雨就出现干旱, 形成特有的雨季干旱现象。其余月份降雨很少, 常发生几个月不下雨而导致严重的“喀斯特干旱”现象。流域内分布最广的是石炭系和二迭系, 母岩以连续性灰岩为主。土壤以石灰岩土和石灰性土为主。自然植被多为石山区的亚热带喜钙耐旱的常绿阔叶树, 但由于人为毁林, 多已沦为石山藤本灌丛植被。

**1.2 样地设置和土壤样品采集** 利用遥感图谱确定研究区土地利用分布情况, 并对小流域进行广泛的实地调查, 在流

**基金项目** 广西自然科学基金项目(2010GXNSFA013006); 广西教育厅科研项目(200911MS262)。

**作者简介** 苏广实(1968-), 男, 广西隆安人, 副教授, 博士, 从事喀斯特土地资源开发与利用、石漠化成因与治理方面的研究, E-mail: shuguangsh@163.com。

**收稿日期** 2012-02-10

域的上、中、下游选定代表不同人为干扰方式的土地利用类型,包括自然林地、灌丛地、灌草丛地、草地、人工林地、退耕地、梯化旱地、旱地和坡耕地。用 GPS 定位,在选定的不同土地利用类型内设置样地,并在每个样地取 3 个样方,每个样方设置为 10 m × 10 m。在每个样方采用 S 型布点法采集表层(0~20 cm)1 kg 混合土壤,并取 3 个环刀土样。分 3 次不同时间采样,分别为 2009 年 4 月 26~29 日、8 月 28 日~9 月 1 日、9 月 20~23 日。将从野外采回的土壤样品放在塑料薄膜上,摊成薄薄一层,置于干净、整洁的室内通风处自然风干。风干过程中,经常翻动土样,并将大块捏碎加速干燥,同时剔除土壤意外的侵入体。按照不同的分析要求将风干后的土样研磨过筛,充分混匀,测定土壤物理性质。

**1.3 土壤物理性质的测定** 将土壤样置于带有编号的已知质量( $m$ )的铝盒中,放在分析天平上称重  $m_1$ ,将盒盖倾斜放在铝盒上,置于 105 °C 烘干箱内烘 6~8 h,取出,盖好,在干燥器中冷却至室温,立即称重  $m_2$ ,计算土壤含水量( $w$ )。

$$w(\%) = (m_1 - m) / (m_2 - m_1) \times 100\%$$

称取过 2 mm 孔径的风干土样 10 g 于聚乙烯烧杯中,加入 25 ml 蒸馏水,用电磁搅拌器搅拌 1 min,使土粒充分分散,放置 30 min 后用酸度计测出土壤水溶液的 pH;用多参数测定仪,测定土壤溶液的电导率。根据国家标准,采用环刀法测定土壤容重、土壤孔隙度等物理指标。

**1.4 数据分析** 采用 EXCEL、SPSS14.0 分析软件对试验数据进行分析。

## 2 结果与分析

**2.1 土壤含水量** 土壤含水量是表征土壤水分状况的一个指标,是重要的土壤肥力要素,是土壤的重要物理性质之一。从表 1 可以看出,在不同土地利用方式下土壤表层含水量存在较大的差异,由高到低依次为自然林地、灌丛地、灌草丛地、草地、人工林地、退耕地、梯化旱地、旱地、坡耕地。与自然林地相比,不同土地利用方式下土壤表层含水量相差的幅度各异,坡耕地相差最为明显,比自然林地低 5.86%,其次依次为梯化旱地、旱地、退耕地、人工林地、草地,灌丛地与灌草丛地相差最小。与坡耕地相比,梯化旱地土壤表层含水量高 2.47%。这与坡改梯后地表径流对土壤冲刷能力降低、保水能力增加密切相关。可见,不同土地利用方式对土壤含水量存在较大的影响。

表 1 不同土地利用方式下土壤物理性质各项主要指标的均值

土地利用类型	含水量 %	容重 g/cm <sup>3</sup>	总孔隙度 %	pH	电导率
自然林地	26.89 a	1.18 a	53.70 b	6.89 a	3 418.60 a
灌丛地	26.45 a	1.28 d	52.13 b	7.02 a	2 010.00 b
灌草丛地	26.10 a	1.30 de	51.38 b	7.12 ab	1 815.83 c
草地	25.70 c	1.32 e	49.09 a	7.33 bc	1 302.56 d
人工林地	25.50 ac	1.34 ef	47.44 c	7.45 ce	1 153.96 d
退耕地	24.49 e	1.35 ef	46.36 c	7.58 cde	1 127.00 de
梯化旱地	23.50 be	1.37 ef	44.69 cd	7.74 de	775.50 ef
旱地	22.70 de	1.45 b	41.95 de	7.80 df	734.91 f
坡耕地	21.03 d	1.47 c	41.15 e	7.86 d	564.41 f

注:同列不同小写字母表示差异在 0.05 水平显著(LSD 法)。

**2.2 土壤容重** 作为表示土壤松紧程度的一项指标,土壤容重受土壤土粒排列方式、结构、质地、紧实度等土壤内部因

素的影响,也常受到耕作、施肥、灌溉、降水等农业技术措施的影响,尤其是耕作层变动较大。从表 1 可以看出,在不同土地利用方式下土壤容重存在明显的差异,由低到高依次为自然林地、灌丛地、灌草丛地、草地、人工林、退耕地、梯化旱地、旱地、坡耕地。与自然林地相比,坡耕地和旱地土壤容重增加幅度最为显著,分别增加了 24.58% 和 22.88%,草地、人工林、退耕地、梯化旱地、旱地增加的幅度较少,分别为 11.86%、13.56%、14.41%、16.10%,灌木丛地、灌丛地增幅最少,分别为 8.47%、10.17%。显然,人类干扰相对较多的坡耕地、旱地、梯化旱地土壤容重较人工林地、退耕地大,侵蚀较为严重。而梯化旱地土壤容重比坡耕地、旱地小。因此,坡耕地改为梯地,可有效保持水土,减缓石漠化进程。这对土地结构调整具有一定的指导意义。

**2.3 土壤孔隙状况** 土壤孔隙度是土壤结构的重要指标,是土壤的主要物理性质之一,其数量和质量可以反映土壤结构的好坏。影响土壤孔隙度的因素有土壤质地、土壤排列松散和土壤结构、有机质含量等,也与土地利用方式密切相关。从表 1 可以看出,在不同土地利用方式下土壤总孔隙度大小排列顺序为自然林地 > 灌丛地 > 灌草丛地 > 草地 > 人工林地 > 退耕地 > 梯化旱地 > 旱地 > 坡耕地。与自然林地相比较,坡耕地总孔隙度减少了 12.55%,在这几种土地利用方式中坡耕地总孔隙度最低;退耕地总孔隙度减少了 7.34%;梯化旱地和旱地分别减少了 9.01% 和 11.75%。不难看出,人类对植被的破坏以及开垦强度的增强导致土壤孔隙性恶化,土壤结构破坏;而良好的植被条件与合理的土地利用方式能够有效地保持水土,增加土壤的蓄水量,提高土壤的抗蚀和抗旱能力。

**2.4 土壤 pH 和电导率** 土壤电导率和土壤 pH 有密切的关系。pH 越大,土壤中含有的交换性钠含量越大,土粒越分散,土壤黏重闭结,通透性越差,不利于水分的流通,直接影响土壤肥力,不利于耕作和植物的生长。从表 1 可以看出,坡耕地土壤 pH 最大,自然林地 pH 最小,坡耕地、旱地、梯化旱地、退耕地、人工林地、草地、灌草丛地、灌木丛地、自然林地土壤 pH 依次递减。这说明不同土地利用方式下土壤含水量、通透性存在明显差异。土壤电导率作为土壤肥力的一个指标,与施肥措施和土壤肥力水平有关。从表 1 可以看出,坡耕地土壤电导率最小,旱地、梯化旱地、退耕地、人工林地、草地、灌草丛地、灌丛地、自然林地土壤电导率依次递增。可见,人类对土壤的干扰会使土壤 pH 和电导率产生明显差异。随着干扰强度的增大,土壤肥力不断下降,耕作能力不断降低,土地退化,影响植被生长。显然,这也是导致喀斯特石漠化的主要原因之一。

**2.5 土壤物理性质** 从表 2 可以看出,各主要指标的变异系数由大到小的排列顺序依次为电导率 > 容重 > 含水量 > 总孔隙度 > pH。土壤电导率的变异系数最大,表明它对不同土地利用方式的响应程度最强烈。与电导率相比,pH 的变异系数小了许多,其响应程度远不如土壤电导率强烈。土壤容重、含水量和总孔隙度的响应程度居中。

表2 土壤物理性质各项主要指标的变异系数

项目	含水量 %	容重 g/cm <sup>3</sup>	总孔隙度 //%	pH	电导率
标准值	1.71	0.12	3.99	0.35	686.08
平均值	25.18	1.34	48.54	7.33	1 543.28
变异系数//%	6.87	8.87	5.83	4.81	44.46

注:n=40。

进一步分析上述各主要指标间的相关矩阵。从表3可以看出,土壤容重与含水量、电导率、总孔隙度呈0.05水平显著负相关关系,与pH呈0.05水平显著正相关关系。在不同的土地利用方式下,土壤总孔隙度、含水量、电导率及pH的变化均与土壤容重的变化有关。随着土壤容重的增加,土壤总孔隙度和含水量均减少,电导率降低,而pH升高。这进一步说明不同的土地利用方式直接影响土壤容重的变化,进而影响土壤其他物理性质的变化。由此可见,不合理的毁林开垦和耕种破坏了土壤原有的结构,恶化土壤质地,导致土壤容重增加,总孔隙度减少,不利于拦洪蓄水,水土流失加重,土地退化,最终导致喀斯特土地石漠化。

表3 土壤物理性质各项主要指标间的相关矩阵

项目	含水量	pH	电导率	总孔隙度	容重
含水量	1.000				
pH	-0.768**	1.000			
电导率	0.753**	-0.837**	1.000		
总孔隙度	0.871**	-0.814**	0.815**	1.000	
容重	-0.918**	0.793**	-0.869**	-0.930**	1.000

注:\*\*表示在0.01水平显著相关。

### 3 结论

(1)随着自然林地向灌丛地、灌草丛地、草地、人工林地、梯化旱地、旱地、坡耕地的转变,土壤含水量、土壤容重、pH呈现增加趋势,而土壤总孔隙度、电导率逐渐降低。

(2)在土壤物理性质各项主要指标中,土壤电导率对不同土地利用方式的响应程度最强烈。与电导率相比,pH的响应程度远不如土壤电导率强烈。土壤容重、含水量和总孔隙度的响应程度居中。

(3)在不同的土地利用方式下,土壤总孔隙度、含水量、电导率及pH的变化均与土壤容重的变化在0.05水平显著相关。随着土壤容重的增加,土壤总孔隙度和含水量均减少,电导率降低,而pH升高。因此,降低土地利用强度,土壤容重减小,总孔隙度增大,含水量提高,可较大程度地减缓石漠化进程。

(上接第8089页)

(5)由于条件限制,该试验只设计了2个梯度,因此养殖池中植物覆盖率的研究和栽种蔬菜品种的选择还有待于进一步的研究。试验结果表明,菜-鱼共生模式是值得推广的,而且搭建的浮床也是广大农村可以就地取材且无污染的,又可以提高农民的经济收入,又能丰富城市的菜篮子同时生菜又是一种可食用的常见蔬菜,从而可以提高养殖者的经济收入。

(4)综合分析土壤物理性质各项主要指标,发现自然林地土壤物理性质最优,灌丛地、灌草丛地、草地、人工林地、退耕地次之,梯化旱地、旱地、坡耕地最差。与梯化旱地、旱地、坡耕地相比,退耕地土壤物理性质较好,人工林地的土壤物理性质比退耕地好。退耕地土壤物理性质得到部分恢复,而梯化旱地土壤物理性质相对于旱地和坡耕地也得到部分恢复。因此,减少人为干扰,使植被得以恢复,可以防止石漠化的进一步恶化。

### 参考文献

- [1] 张源润,董立国,蔡进军,等. 半干旱退化山区不同土地利用方式土壤理化性质的特征研究[J]. 水土保持通报,2009,29(5):65-68.
- [2] 陈浮,濮勋杰,彭补拙,等. 新疆库尔勒市土地利用变化对土壤性状的影响[J]. 生态学报,2001,21(8):1290-1295.
- [3] 刘世梁,傅伯杰,陈利顶,等. 卧龙自然保护区土地利用变化对土壤性质的影响[J]. 地理研究,2002,21(6):682-688.
- [4] 戴小国,庞奖勋,郭美娟,等. 关中东部不同土地利用方式下土壤理化性质对比研究[J]. 农业系统科学与综合研究,2009,25(2):223-232.
- [5] 岳学文,方海东,钱坤建,等. 金沙江干热河谷不同土地利用方式的土壤水分特征[J]. 安徽农业科学,2010,38(27):14963-14965.
- [6] 郭旭东,傅伯杰,陈利,等. 低山丘陵区土地利用方式对土壤质量的影响[J]. 地理学报,2001,56(4):447-455.
- [7] 焦加国,武俊喜,李辉信,等. 华南丘陵区村级景观下土地利用/土地覆盖对土壤质量的影响[J]. 土壤学报,2007,44(2):204-211.
- [8] 杨智杰,崔纪超,谢锦升,等. 中亚热带山区土地利用变化对土壤性质的影响[J]. 地理科学,2010,30(3):475-480.
- [9] 刘海隆,蒋太明,刘洪斌,等. 不同土地利用方式对岩溶山区旱坡地土壤水分时空分异的影响[J]. 土壤学报,2005,42(3):428-434.
- [10] 傅伟,陈洪松,王克林. 喀斯特坡地不同土地利用类型土壤水分差异性研究[J]. 中国生态农业学报,2007,15(5):59-62.
- [11] 周传艳,陈训,周国逸,等. 不同土地利用方式及开垦时间对岩溶山区土壤养分空间分布的影响[J]. 应用与环境生物学报,2011,17(1):63-68.
- [12] 郑华,苏以荣,何寻阳,等. 土地利用方式对喀斯特峰林谷地土壤养分的影响[J]. 中国岩溶,2008,27(2):177-181.
- [13] 龙健,邓启琼,江新荣,等. 贵州喀斯特石漠化地区土地利用方式对土壤质量恢复能力的影响[J]. 生态学报,2005,25(12):3188-3195.
- [14] 张新玉,杨元辉. 我国水土保持小流域综合治理模式研究[J]. 中国水利,2011(12):58-61.
- [15] 徐波,朱雪梅,刘倩,等. 川中丘陵区不同土地利用方式下土壤养分特征研究——以中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站小流域为例[J]. 西南农业学报,2011(2):663-668.
- [16] 钟一铭,曹瑛杰. 土地利用方式对浙江省龙潭水库富营养化程度的影响[J]. 江西农业学报,2010,22(5):110-113.
- [17] ZHANG X, LIAN B, YIN J, et al. Study on influences of different land use types on soil qualities in plateau Karst depression[J]. Agricultural Science & Technology, 2010, 11(2):173-178, 182.
- [18] 梁治中,贾志军,王林和,等. 桃林口水库水源涵养区土地利用动态变化分析[J]. 内蒙古农业科技,2010(3):58-59.
- [19] 孙建,刘苗,李立军,等. 不同施肥处理对土壤理化性质的影响[J]. 华北农学报,2010(4):221-225.
- [1] 刘长发,慕志仁,何洁,等. 环境友好的水产——零污水排放循环水产养殖系统[J]. 大连水产学院学报,2002,17(3):223-226.
- [2] 陈家长,孟顺龙,胡康东,等. 空心菜浮床栽培对集约化养殖鱼塘水质的影响[J]. 生态与农村环境学报,2010,26(2):155-159.
- [3] 房英春,刘光纯,田春. 养殖水体污染对养殖生物的影响及水体修复[J]. 中国水产,2005(4):78-80.
- [4] 邢旭文,陈家长. 浮床无土栽培植物控制池塘富营养化水质[J]. 湛江海洋大学学报,2001,21(3):29-33.
- [5] 国家环境保护总局.《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社,2002:223-281.