

文章编号:1001-4810(2012)01-0007-05

石灰土发育过程中土壤腐殖质组成 及其与土壤钙赋存形态关系

陈家瑞^{1,2}, 曹建华¹, 梁毅^{1,2}, 杨慧¹

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部、广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室,
广西 桂林 541004; 2. 广西师范大学生命科学院, 广西 桂林 541004)

摘要:选取桂林典型石灰土不同发育阶段土样(黑色石灰土、棕色石灰土、黄色石灰土),对土壤中腐殖质组成、土壤钙的形态及其含量进行测定。结果显示:(1)石灰土发育过程中,黑色石灰土、棕色石灰土、黄色石灰土总碳量分别为230.15 mg/g、37.49 mg/g、17.94 mg/g,胡敏酸所占比例分别为31.94%、9.44%、7.25%,富啡酸所占比例为1.04%、36.14%、66.16%,胡敏素为67.02%、54.41%、26.59%;(2)黑色石灰土、棕色石灰土、黄色石灰土中土壤钙含量分别为21 486.66 mg/kg、6 913.33 mg/kg、5 540.17 mg/kg,且三种土壤中均是酸溶态所占比例最高,分别为57.58%、74.69%、80.83%,其次为可还原态、残渣态和可氧化态;(3)相关性分析表明,土壤钙及其各形态均与土壤有机碳总量、胡敏酸、胡敏素成正相关关系,与富啡酸成负相关关系,土壤腐殖质组成及其含量在很大程度上影响着土壤钙含量及赋存形态。

关键词:石灰土;腐殖质;土壤钙;钙赋存形式

中图分类号:S153.6

文献标识码:A

岩溶区面积占我国国土面积的1/3,但是由于碳酸盐岩成土速率慢、岩溶区土层厚度薄、滥垦乱伐严重、水土流失严重等原因,使得岩溶生态系统存在特殊的脆弱性,石漠化问题日益严重且受到的关注程度日趋高涨^[1-2]。石灰土作为岩溶生态系统的重要组成部分和土壤流失的主体,对岩溶生态系统起着举足轻重的作用。根据碳酸盐岩成土过程中形成土壤的颜色、粘土矿物组成、盐基饱和度、淋溶程度、胶粒、pH等的不同,可将石灰土分为黑色石灰土、黄色石灰土、棕(褐)色石灰土和红色石灰土四个亚类^[3]。石灰土具有富钙偏碱的特性,但不同类型石灰土中钙含量及赋存形态具有较大差别,且随着石灰土不同发育

阶段土壤淋溶状态的不同和有机质的流失等,腐殖质含量也具有很大的差别。土壤中的腐殖质是有机质的主要组成部分,对土壤的理化性质、肥力等具有重要的影响,且腐殖质含有丰富的酚羟基、羧基、羟基等基团,各种金属离子的迁移及其在沉积物中的富集成岩与腐殖质对金属离子络合、吸附作用有很大关系^[4]。许建民、袁可能^[5]的研究表明土壤松结态腐殖质的量与游离态铁、铝呈极显著的正相关,与交换性钙呈极显著负相关,稳结态腐殖质则与交换性钙呈极显著正相关,而与游离态铁、铝呈极显著负相关。因此了解石灰土发育过程中土壤腐殖质的种类和含量、钙的赋存形态以及腐殖质与钙之间的相关关系,对于

基金项目:国家自然科学基金(岩溶动力系统中土壤钙迁移及生态环境效应,编号40872213)、中国地质调查局地质调查工作项目(岩溶碳汇过程与效应,编号1212011087120)

第一作者简介:陈家瑞(1987—),女,硕士研究生,主要从事土壤生态学研究。E-mail:bio_05sk2jiairui@163.com。

通讯作者:曹建华(1963—),男,研究员,博士,主要从事岩溶水文与岩溶生态学研究。E-mail:jhcao@karst.edu.cn。

收稿日期:2011-08-17

了解岩溶生态系统的发展动向、稳定状态及如何维持岩溶生态系统的稳定具有一定的指导意义。本文选取石灰土发育过程中的黑色石灰土、棕色石灰土、黄色石灰土作为研究对象,对其腐殖质组成和钙的形态及其含量进行测定,以了解其变化趋势及相关关系,为维持岩溶生态系统的稳定和石漠化治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

实验土壤采自桂林市丫吉岩溶试验场。丫吉岩溶试验场位于桂林东南 8 km 处的丫吉村附近。该场区处于桂林典型的峰丛洼地与峰林平原交界地带,植被以次生灌丛为主,黄荆、火棘、九龙藤等为主要树种。研究区地处亚热带季风区,多年平均气温 18.8℃,多年平均降雨量为 1 915.2 mm,降雨分配不均匀,4—8 月降雨量占全年降雨量的 70.32%,9 月至次年 3 月占全年的 29.68%^[6]。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集

实验样品采于 2011 年 3 月。选取研究区内典型的黑色石灰土、棕色石灰土和黄色石灰土,每个土样选三个点,取样深度为 1~20 cm,混匀,去除枯枝树根等杂物,自然风干,研磨,过 100 目筛备用。

1.2.2 试验方法

土壤腐殖质组成参照参考文献[7]测定;用重铬酸钾氧化—比色法测定腐殖质总碳量及各组分碳量^[8];土壤 pH 按照水土比 2.5:1 测定;土壤钙全量及形态组成参照文献[9]进行提取,用美国铂金埃尔默公司产的 OPTIMA2000DV 电感耦合等离子体光谱仪(ICP-OES)进行测定。

2 结果及分析

2.1 石灰土发育不同阶段土壤腐殖质组成

如图 1 所示,在石灰土发育过程中,土壤各阶段的有机碳含量由黑色石灰土、棕色石灰土至黄色石灰土呈现逐渐下降趋势,黑色石灰土中有机碳(SOC)含量为 230.15 mg/g,棕色石灰土和黄色石灰土分别为 37.49 mg/g 和 17.94 mg/g,这表明随着石灰土发育过程的不断推进,土壤有机碳含量明显减少。由图 2 可知,石灰土发育过程中,土壤腐殖质的含量及种类

均有较大的变化。首先,随着石灰土的发育,黑色石灰土、棕色石灰土和黄色石灰土中胡敏酸和胡敏素含量依次减少,富啡酸则逐渐增加;黑色石灰土中,胡敏素含量最高,占总有机碳量的 67.02%,其次为胡敏酸、富啡酸;到棕色石灰土阶段,富啡酸含量已经高出胡敏酸含量,仅次于胡敏素;至黄色石灰土阶段,富啡酸含量均已高出胡敏酸和胡敏素,占到总碳量的 66.16%。该结果表明在石灰土发育不同阶段随着 pH 等理化性质的改变,土壤中腐殖质的组成及含量均有较大的变化。

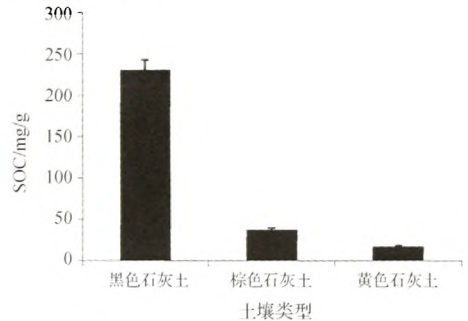


图 1 石灰土发育不同阶段土壤有机碳含量变化
Fig. 1 Changes of SOC at different developing stages of the limestone soil

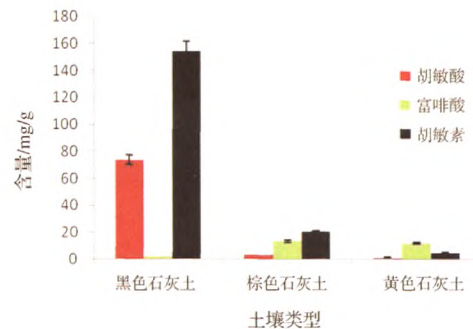


图 2 石灰土发育过程中腐殖质组成变化
Fig. 2 Changes of the humus component at different developing stages of the limestone soil

2.2 石灰土不同发育阶段土壤钙形态及含量

由表 1 可知,在石灰土发育各阶段,土壤钙全量在黑色、棕色、黄色石灰土中的含量依次递减,钙的组成形态中,酸溶态钙含量最多,其次为可还原态钙、残渣态钙和可氧化态钙。由图 3 可以看出,钙的各形态在三种土壤中所占钙全量的百分比不同,从黑色石灰土到棕色石灰土、黄色石灰土,酸溶态钙所占比例分别 57.58%、74.69%、80.83%,呈递增趋势,可还

表 1 石灰土不同发育阶段土壤钙形态及其含量(单位:mg/kg)

Tab. 1 The content of the calcium form at different developing stages of the limestone soil

土壤类型	钙全量	酸溶态	可还原态	可氧化态	残渣态
黑色石灰土	21 486.66±141.96	12 372.33±74.29	11 174.49±802.36	519.30±13.11	989.37±71.61
棕色石灰土	6 913.33±128.12	5 163.77±76.76	2 182.42±101.39	316.49±53.85	594.43±17.81
黄色石灰土	5 540.17±52.01	4 477.95±64.06	1 128.32±36.05	287.90±38.00	675.39±75.08

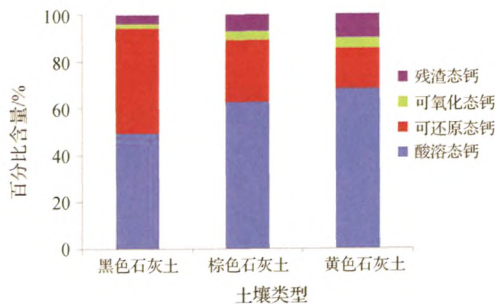


图 3 各成土阶段土壤钙形态百分比

Fig. 3 The percentage of the calcium form at different developing stages of the limestone soil

原态钙所占比例依次减少,可氧化态钙百分含量变化不明显,残渣态钙含量也呈现依次递增的趋势。

2.3 石灰土腐殖质组成及与土壤钙形态间的关系

对石灰土中土壤有机碳、胡敏酸、富啡酸、胡敏素与钙各个形态之间进行相关性分析,结果如表 2 所示。由表可知,石灰土中,富啡酸与胡敏酸、胡敏素及各形态钙之间呈不显著的负相关,其他各因素间呈正相关关系,且除可氧化态钙与各因素间的相关关系不显著外,各因素间均呈现极显著正相关($P<0.01$),这表明石灰土中腐殖质的种类及含量在很大程度上影响着土壤钙及各种形态钙的含量。

表 2 石灰土中腐殖质组成及与土壤钙形态间的相关关系

Tab. 2 Relationship of the humus components and the calcium form in the limestone soil

因子	土壤有机碳	胡敏酸	富啡酸	胡敏素	钙全量	酸溶态钙	可还原态钙	可氧化态钙	残渣态钙
土壤有机碳	1								
胡敏酸	0.991**	1							
富啡酸	-0.426	-0.478	1						
胡敏素	0.998**	0.984**	-0.457	1					
钙全量	0.998**	0.997**	-0.445	0.993**	1				
酸溶态钙	0.996**	0.996**	-0.145	0.989**	1.000**	1			
可还原态钙	0.995**	0.994**	-0.504	0.994**	0.997**	0.998**	1		
可氧化态钙	0.487	0.538	-0.186	0.456	0.511	0.395	0.507	1	
残渣态钙	0.921**	0.916**	-0.391	0.918**	0.915**	0.934**	0.898**	0.327	1

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上极显著相关

3 讨论

土壤腐殖质的形成和积累是土壤发育的重要特征之一。腐殖质是动植物经过长期的物理、化学、生物作用而形成的复杂有机物,是天然有机物的主要组成部分,为大分子聚合物,具有非常复杂的化学结构,根据溶解性质可以把腐殖质分为 3 种类型:富啡酸(既溶于酸又溶于碱)、胡敏酸(只溶于碱而不溶于酸)、胡敏素(在酸和碱中都不溶解)。土壤腐殖质的

三种成分中,胡敏酸分子量较大,常与钙、镁、铁、铝等形成难以溶于水的盐类;富啡酸分子量小,分散性强,与钙离子等结合不会发生凝集沉淀;胡敏素是腐殖质中最不活跃的部分,可缓慢释放 N、P、S 等元素供给土壤养分。在石灰土成土三个阶段中,胡敏酸和富啡酸的含量依次降低,这说明在石灰土的发育过程中,受土壤总碳量减少、土壤组分的淋洗流失和生物化学分解作用的影响,土壤 pH 值升高,土壤腐殖质中的胡敏酸和胡敏素逐渐减少,而富啡酸含量则呈现

升高趋势。由于石灰土的土壤胶粒和矿物组成以及它们在地貌上的分布差异性,再加上新的植物代谢和枯枝落叶分解所产生的腐殖质无法使腐殖质总量达到平衡,致使在石灰土发育过程中,土壤有机碳按照黑色石灰土、棕色石灰土和黄色石灰土的顺序呈现递减的趋势。

石灰岩本身的富钙性,使得由其发育而来的土壤也具有很明显的富钙性。而石灰土发育过程中具有淋溶脱钙的特征^[10],因此黑色石灰土、棕色石灰土和黄色石灰土中的钙全量也呈现递减的趋势。黑色石灰土一般形成于喀斯特石山峰体的中上部岩(缝)隙或者局部低凹处,由于受到雨水淋洗等的作用,在向棕色石灰土和黄色石灰土发育的过程中脱钙作用极为明显。三种土壤中钙均以酸溶态钙为主,且酸溶态钙和可还原态钙含量占了钙全量的绝大部分。酸溶态钙为可交换及碳酸盐结合态钙,可交换态钙在中性条件下可释放出来,易于迁移和被植物吸收利用,碳酸盐结合态钙在酸性条件下容易释放成为活性钙成分,而可还原态钙为铁锰氧化物结合态钙,一定条件下铁锰氧化物可被还原,使钙成为生物可利用态。酸溶态钙和可还原态钙含量较高表明石灰土中的钙活性很高,处于活跃的迁移和生物利用状态。

随着石灰土的发育,残渣态钙含量的比重有所升高,即赋存于原生矿物和次生硅酸盐晶格中的钙比重提高,但是量却没有增高,这表明由于碳酸盐岩的可溶性,在石灰土的发育过程中,由碳酸盐岩溶蚀产生的由钙、镁形成的易溶性重碳酸钙、镁随水流失严重,而由碳酸盐岩溶蚀风化后的残余物很少,这也是决定碳酸盐岩成土条件差和成土速度慢的重要因素。

石灰土中腐殖质成分与土壤钙全量和形态的相关关系表明,胡敏酸和胡敏素与钙之间呈现正相关关系,而富啡酸则与之呈负相关关系,这与它们的分子组成及特性有关。胡敏酸分子量大,可以与钙结合成难溶于水的钙盐,而胡敏素最不活跃,与钙离子稳定结合后,可以抑制钙的流失和迁移,而富啡酸由于分子量较小,分散性强且不与钙发生凝集沉淀作用,对钙无显著截留作用。

石灰土是支撑岩溶生态系统的基础,土壤有机碳在石灰土的形成和演化过程中起着重要的作用,是植物生长和生存的基础,且土壤有机碳在全球碳循环中同样扮演着非常重要的角色。而有研究表明,岩溶区的石漠化导致了土壤有机碳的严重流失,并且直接影

响到了植物对水分和钙等营养元素的吸收利用^[11]。据闫俊华研究,中国西南石漠化导致的有机碳流失严重,流失通量年增加 28 Tg^[12]。另外,土壤有机质含量对土壤结构等也具有重要影响,土壤有机质含量减少,抵御水土流失的能力降低。再是,土壤腐殖质是土壤有机碳的主体^[13],土壤腐殖质的变化和组成同样受石漠化所影响。由此可见,根据石灰土发育过程中土壤腐殖质种类及含量变化,以及石灰土中重要代表营养元素之一钙元素含量的变化及两者间的相关关系,可以大致判断岩溶区土壤有机碳及一些营养元素的流失现状和岩溶区所处的石漠化程度。但由于土壤本身的复杂多变性,要想得到更为精确的数据依据,仍需做进一步的深入研究工作。

4 结 论

(1)石灰土发育过程中,黑色石灰土、棕色石灰土、黄色石灰土三种土壤中总碳量逐渐减少,分别为 230.15 mg/g、37.49 mg/g、17.94 mg/g,胡敏酸所占总碳量比例逐渐减少,分别为 31.94 %、9.44 %、7.25 %,富啡酸所占比例逐渐升高,分别为 1.04 %、36.14 %、66.16 %,胡敏素为 67.02 %、54.41 %、26.59 %。

(2)黑色石灰土、棕色石灰土、黄色石灰土中土壤钙全量分别为 21 486.66 mg/kg、6 913.33 mg/kg、5 540.17 mg/kg,且在三种土壤中均以酸溶态所占比例最高,分别为 57.58 %、74.69 %、80.83 %,其次为可还原态、残渣态和可氧化态。

(3)相关性分析表明,土壤钙及其各形态均与土壤有机碳总量、胡敏酸、胡敏素成正相关关系,与富啡酸成负相关关系,表明土壤腐殖质组成及其含量在很大程度上影响着土壤钙含量及赋存形态。

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] 任京辰, 张平究, 潘根兴, 等. 岩溶土壤的生态地球化学特征及其指示意义——以贵州贞丰—关岭岩溶石山区地区为例[J]. 地球科学进展, 2006, 5(21): 504-512.
- [3] 张美良, 邓自强. 我国南方喀斯特地区的土壤及其形成[J]. 贵州工学院学报, 1994, 23(1): 67-75.
- [4] 余贵芬, 蒋新, 吴泓涛, 等. 铜铅在粘土上的吸附及受腐殖酸的影响[J]. 环境科学, 2002, 23(5): 109-112.
- [5] 徐建民, 袁可能. 土壤有机矿质复合体研究Ⅵ·土壤结合态腐

- 殖质的形成特点及其结合特征[J]. 土壤学报, 1995, 32(2): 152—158.
- [6] 曹建华. 岩溶土壤系统中生物作用及有机碳转移对于 CaCO_3 — CO_2 — H_2O 体系的调节与控制[D]. 南京农业大学, 2001.
- [7] 李学垣. 土壤化学及实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 244—245.
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 108—109.
- [9] G. Rauret, J. F. López-Sa'nchez, et al. Improvement of the BCR three step sequential extraction procedure prior to the certification of new sediment and soil reference materials[J]. J. Environ. Monit, 1999, 1: 57—61.
- [10] 曹建华, 袁道先, 潘根兴. 岩溶生态系统中的土壤[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 37—44.
- [11] Jobbagy E G, Jackson R B T. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation[J]. Ecol Appl, 2000, 10(2): 423—436.
- [12] 闫俊华, 周传艳, 王安邦, 等. 喀斯特石漠化过程中的土壤有机碳与容重关系[J]. 热带亚热带植物学报, 2011, 19(3): 273—278.
- [13] 吴景贵, 席时权, 姜岩. 土壤腐殖质的分析化学研究进展[J]. 分析化学评述与进展, 1997, 10: 1221—1227.

Relationship of the humus components and the calcium form with the development of limestone soil

CHEN Jia-rui^{1,2}, CAO Jian-hua¹, LIANG Yi^{1,2}, YANG Hui¹

(1. Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MLR & GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China;

2. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: Selecting the limestone soil samples at different developing stages (black limestone soil, brown limestone soil and yellow limestone soil), the form and contents of the humus and calcium have been measured, the results show that: (1) at different developing stages of the limestone soil, the total carbon in the humus of black limestone soil, brown limestone soil and yellow limestone soil is 230.15 mg/g, 37.49 mg/g and 17.94 mg/g respectively, the proportion of humic acid is 31.94 %, 9.44 % and 7.25 % respectively, fulvic acid accounts for 1.04 %, 36.14 % and 66.16 %, and humin is 67.02 %, 54.41 % and 26.59 % respectively; (2) the total calcium of the black limestone soil, brown limestone soil and yellow limestone soil is 21 486.66 mg/kg, 6 913.33 mg/kg and 5 540.17 mg/kg respectively, the acid-soluble calcium has the highest proportion, with the proportion of 57.58 %, 74.69 % and 80.83 %, followed by the reduced calcium, oxidized calcium and residual calcium; (3) the correlation analysis shows that the soil calcium and the different forms are positively related with SOC, humic acid and humin, negatively related with fluvic acid. It means that the forms and components of the humus can influence the form and components of the soil calcium to a large extent.

Key words: limestone soil; humus; soil calcium; calcium form