

# 花江小流域石漠化过程中土壤化学性质变化研究

卢红梅<sup>1</sup>, 王世杰<sup>2</sup> (1. 贵州省发酵工程与生物制药重点实验室, 贵州贵阳 550003; 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** [目的] 探讨樵采和开垦干扰模式下石漠化过程土壤的化学性质变化。[方法] 在贵州花江连续性灰岩区的小流域范围内, 比较樵采和开垦干扰模式下石漠化过程的土壤化学性质变化。[结果] 花江小流域石漠化过程中土壤中性偏碱性, 碳、氮含量高, C/N 值比较低, 多数在 10 以下, 具有较高的氮素供应潜力, 土壤阳离子代换量高, 保肥性能好, 但磷、钾养分普遍缺乏, 有效磷大多在 10 mg/kg 以下, 有效钾几乎都低于 100 mg/kg, 缓效钾都远低于 300 mg/kg。随着人为干扰程度增加, 花江小流域石漠化等级加剧, 大部分土壤属性都有退化的趋势, 体现了石漠化演变过程与土壤退化的一致性; 石漠化成因对土壤性质的影响比干扰程度的影响大, 樵采对土壤化学性质的影响小, 开垦对土壤化学性质的影响大。茂兰凉风洞原生林下土壤养分含量大多介于花江流域的樵采和开垦序列之间。[结论] 为防治喀斯特石漠化奠定基础。

**关键词** 喀斯特石漠化; 土壤化学性质; 小流域; 花江

**中图分类号** S153.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)28-13750-03

## Study on Changes of Soil Chemical Properties in the Process of Karst Rocky Desertification

LU Hong-mei et al (Guizhou Provincial Key Laboratory of Fermentation Engineering and Biopharmacy, Guiyang, Guizhou 550003)

**Abstract** [Objective] The research aimed to discuss the changes of soil chemical properties in the process of rocky desertification. [Method] Within the small watershed of continuous limestone area in Huajiang of Guizhou Province, the changes of soil chemical properties during rocky desertification under the interference patterns of wood chopping and reclamation were researched. [Result] The result elucidated that the soil from research area with different grade of rock desertification was of neutral-alkalinescence. The carbon and nitrogen content were high and the C/N value was low, most of them was less than 10, which had a good ability to provide element nitrogen. The soil had good ability to keep fertility with high cation exchange capacity (CEC), but short of phosphorus and potassium. For most samples, the available phosphorus and potassium were less than 10 mg/kg and 100 mg/kg respectively, the structure potassium contents were far less than 300 mg/kg. The rock desertification grade enhanced with the increasing of disturbing intensity and most soil characteristics showed a trend of degradation, which implied that, the evolution of rock desertification process and the soil degradation had the same direction. The rock desertification genesis types influenced the soil chemical characteristics more than those of disturbing extent did, while wood chopping influenced soil characteristics less than that of reclamation. Most soil characteristics in wood chopping sequence were better than those of reclamation, and most soil nutrient element contents of Maolan karst virgin forest were between those of reclamation and wood chopping sequence. [Conclusion] The study will lay a foundation for the control of karst rock desertification.

**Key words** Karst rock desertification; Soil chemical properties; Watershed; Huajiang

土壤化学性质是常用于表征土壤生产力和质量的指标<sup>[1]</sup>。土壤有机质的分解和累积决定于生物气候、母质、地形等因素, 因而土壤有机质含量反映了一定的成土过程。岩溶动力条件下, 形成润湿、富钙的土壤环境, 微生物活动异常活跃, 残落的有机物不断分解形成腐殖质, 并与钙、镁离子络合, 形成高度缩合、稳定的腐殖质钙而获得积累<sup>[2]</sup>。土壤中的全氮含量 95% 来自土壤有机质, 与有机质的变化有一致性。

钾是植物需要量最大的元素之一, 而碳酸盐岩是含钾很低的母岩, 因此由岩溶作用形成的土壤钾含量也很低, 加之黏土矿物的固定, 使得石灰岩土的有效钾及缓效钾含量较低<sup>[2]</sup>。土壤中速效磷可表征土壤的供磷状况, 也是诊断土壤有效肥力的指标之一。岩溶生境中磷是受岩溶作用影响非常明显的元素之一, 富钙环境下, 磷很容易转化成稳定的磷酸钙类化合物(如磷酸八钙、磷灰石等)而沉淀下来, 在中性至碱性环境中, 植物和许多微生物都无法利用这些磷酸盐。石灰岩土由于有机质和黏粒含量高, 黏土矿物以伊利石、蛭石、水云母为主, 脱钾程度较同地带的红壤低, 因而阳离子交

换量较高, 且交换性阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  占绝对优势。

由于岩溶地区独特的成土机理和小生境土壤性质的高度异质性, 当前石漠化已成为岩溶地区最主意的生态灾害, 因此, 研究石漠化过程对土壤性质的影响就显得更加必要。为此, 笔者在前期关于花江石漠化过程中的土壤有机碳氮的变化和茂兰原始森林土壤空间变异性与代表性土样采集方法<sup>[3-4]</sup>研究的基础上, 根据不同的人为干扰方式和干扰强度(对应于不同的石漠化等级), 研究样地小生境土壤面积权重样的土壤化学性质变化, 同时与茂兰原始森林下的土壤化学性质进行比较, 以期防治喀斯特石漠化奠定基础。

## 1 材料与方法

**1.1 研究区自然概况** 花江峡谷区位于贵州省关岭县南部、贞丰县以北的北盘江峡谷两岸, 属中亚热带裸露型喀斯特峡谷生态环境。该地区出露地层主要为中三叠统碳酸盐类岩石等, 质纯层厚, 倾角多在  $10^\circ \sim 20^\circ$ 。年均温  $18.4^\circ\text{C}$ ,  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温  $6\,542^\circ\text{C}$ , 年均降水量  $1\,100\text{ mm}$ , 但时空分布不均。5~10 月降雨量占全年总降雨量的 83%, 其余月份连续 3 个月降水量不足  $50\text{ mm}$  的干旱发生频率达 90%, 几乎年年发生春旱, 是一个典型的干热峡谷, “喀斯特干旱”现象严重。区内森林覆盖率小于 3%, 难利用的裸岩石山面积占土地面积的 50% 以上。花江峡谷区环境退化十分严重, 是贵州省内生存环境恶劣的贫困地区之一<sup>[5-6]</sup>。研究区查尔岩小流域位于峡谷北岸, 面积约为  $1.2\text{ km}^2$ , 岩层类型以中三叠统连续性灰岩为主, 小流域的沟谷地带分布着村落及耕地, 沟谷两

**基金项目** 贵州大学博士基金项目(X065010); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-306); 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403200); 国家基金委创新研究群体科学基金项目(40721002)。

**作者简介** 卢红梅(1967-), 女, 重庆人, 博士, 教授, 从事工业微生物与生物地球化学方面的研究。

**收稿日期** 2009-05-31

侧和小流域顶部为坡耕地、不同植被覆盖度的难利用地、撂荒地等,仅在某些近山顶部位和村落附近有成片的次生林存在。样地石漠化强度的划分参考景观划分标准<sup>[7]</sup>,将植被加土被覆盖率大于70%的次生林地或林灌划为潜在石漠化,覆盖率50%~70%的密集灌丛灌草划为轻度石漠化,覆盖率30%~50%的灌丛灌草划为中度石漠化,覆盖率小于30%的稀疏灌丛灌草为强度石漠化。

**1.2 样地设置** 研究区的石漠化强度类型与样地分布参见文献<sup>[3]</sup>。考虑到喀斯特生境的高度异质性及影响因素的复杂性,在小流域上、中、下同一地理位置按坡向、坡度相同或相近各布置1套样地组(编号分别为03、04、05、06开头的样地组),每组包括不同石漠化等级样地(10 m×10 m)1~2个。而潜在石漠化生境仅存在于某些近山顶部位和村落附近,在小流域的上、中、下区域选5个潜在石漠化样地053(10 m×10 m)、0531(10 m×10 m)、028(20 m×10 m)、005(20 m×10 m)、0051(10 m×10 m),其中,053和0531、005和0051相邻。

根据地表微形态和微地貌的变化,岩石裸露率、土壤分布面积等特征,研究区样地的小生境类型多数为土面、石沟、石土面类,也有少量石坑、石缝和石洞类。土面是岩石裸露率低于30%、土壤覆盖均匀、面积相对较大的小型台地(长宽均大于2 m),石沟为深宽比小于2的岩石侵蚀沟,沟底沉积有厚薄不一的土壤,同时,凋落物容易聚集;石缝的深宽比大于2,缝底有枯枝落叶堆积并形成少量土壤;石土面为岩石裸露率大于30%、类似土面的小型台地;石坑(石槽)为不规则形状的侵蚀洼地,土壤面积在0.1~1.0 m<sup>2</sup>,石洞为溶蚀作用形成的大小不一的管状孔道。各样地中土壤类型以黄色石灰土、棕色石灰土和黑色石灰土为主。

**1.3 土壤样品采集方法** 在花江查耳岩小流域内17个样地采小生境土壤面积权重样。采样前先对设置样地划分小生境类型,由面积权重确定各类小生境土样量,而各类小生境土样由以面积权重确定的同类小生境样品量混合,小生境土样则由多点混合样组成。一般每个小生境土样为3~5点表层土(0~15 cm)的混合样,面积和异质性大的小生境应为5~8点表层土的混合样。土样采集前,先除去未腐解和半腐解的枯落物。

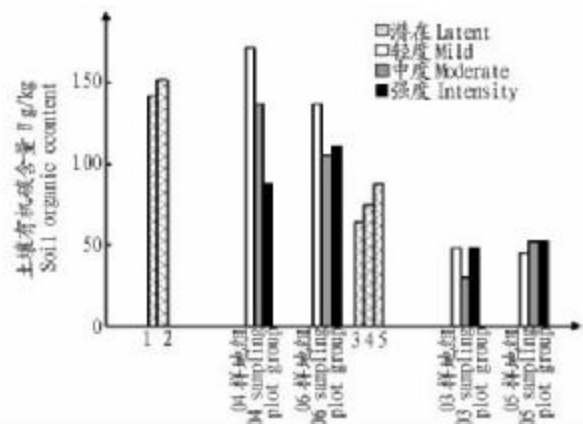
**1.4 土壤样品处理** 新鲜土样带回实验室,风干,之后用四分法取一定量样品,捡出石砾和可见的植物根或碎片,经研磨制备2.00、1.00、0.50、0.25 mm的土样,研磨过程中植物碎片太小时用塑料棒的摩擦静电法去除。

**1.5 土壤化学性质测定方法** 有机碳、全氮含量测定:取过0.25 mm的土样,用10%盐酸除去碳酸盐,烘干后再研磨,过0.25 mm筛孔,用元素分析仪测定;pH值测定采用酸性计,水:土=2.5:1.0;阳离子代换量(CEC)测定采用乙酸铵提取-火焰光度法;有效态氮(碱解氮)含量测定采用碱解扩散法;有效磷含量测定采用盐酸氟化铵浸提-磷钼兰比色法;有效钾含量测定采用乙酸铵提取-火焰光度法;缓效钾含量测定采用硝酸煮沸-火焰光度法<sup>[8-9]</sup>。

**1.6 数据处理方法** 采用Excel和Origin Pro. 7.5软件进行绘图。

**2 结果与分析**

**2.1 土壤有机碳含量变化** 由于特殊的成土机制,岩溶土壤质地黏重,研究区域内<0.010 mm的物理性黏粒含量>70%,<0.001 mm的物理性黏粒含量平均值为50.7%。土壤有机质对黏粉粒有强的吸附作用,易形成稳定的有机-无机复合体,因而石灰岩土的土壤腐殖质一般较高。研究样地土壤表层的有机碳含量范围为30.1~171.5 g/kg(有机质含量5.20%~29.60%),与贵州紫云县喀斯特环境中土壤退耕蒿草地到密集灌丛的土壤有机质含量范围(4.60%~27.21%)接近<sup>[10]</sup>。由图1可知,樵采和开垦序列土壤有机碳含量在石漠化等级间的变化有较大差异,樵采序列的有机碳含量都高于开垦序列;樵采序列中,轻度和某些中度等级土壤有机碳含量与潜在样地接近,退化不明显,强度等级有明显退化;开垦序列中,03、05样地组与潜在样地相比都有明显退化,样地组不同石漠化等级间的差异较樵采序列的小。

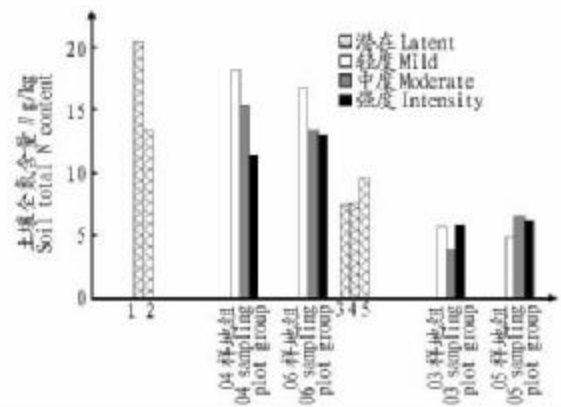


注:图中数字1,2,3,4,5分别表示潜在样地。0531、0051、028、053、005;1,2,04样地组、06样地组为樵采序列;3,4,5、03样地组、05样地组为开垦序列。下图同。

Note:1,2,3,4,5 in the chart stand for latent plots 0531,0051,028,053,005 respectively; 1,2,04,06 sampling plot groups were wood chopping sequence; 3,4,5,03,05 sampling plot groups were reclamation sequence. The same as follows.

**图1 喀斯特石漠化过程中土壤有机碳含量变化**

**Fig.1 Changes of soil organic C content in the process of karst rock desertification**



**图2 喀斯特石漠化过程中土壤全氮含量变化**

**Fig.2 Changes of total N content in the process of karst rock desertification**

**2.2 土壤氮素含量变化** 由图2可知,全氮在樵采序列和

开垦序列石漠化过程中的变化与有机碳一致,但是樵采序列中有的潜在样地(0051)与样地组不同石漠化等级的差异更小。图3显示,研究区域内土壤有效氮(碱解氮)含量的变化范围在256.5~751.6 mg/kg,与龙健<sup>[11]</sup>研究的贵州省紫云县宗地乡从退耕蒿草地到灌木林碱解氮含量的范围201~1052 mg/kg接近。土壤碱解氮在樵采石漠化过程中退化很明显,其含量的降低与石漠化等级的增加有一致性和同步性;其在开垦石漠化等级间的变化与全氮、有机碳的变化一致;开垦序列的样地组中,中度等级在有机碳、全氮、碱解氮含量方面几乎均明显低于其他等级,也有的略高于其他等级,变化无规律。碱解氮与全氮之比显示出,开垦石漠化(在0.40%~0.59%,平均值为0.49%)比樵采石漠化(在0.35%~0.48%,平均值为0.42%)的比值更大,说明开垦石漠化土壤氮素的有效性更高一些,更容易被微生物降解。

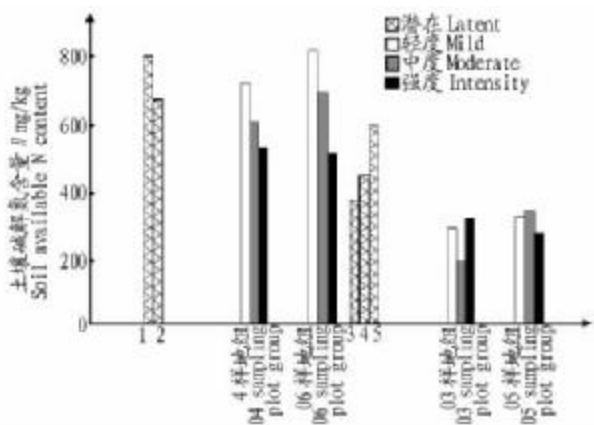


图3 喀斯特石漠化过程中土壤碱解氮含量变化

Fig.3 Changes of available N content in the process of karst rock desertification

2.3 土壤钾素、磷素含量变化 由图4、5可知,流域内有效钾含量在24.51~101.27 mg/kg,平均为61.37 mg/kg,大部分

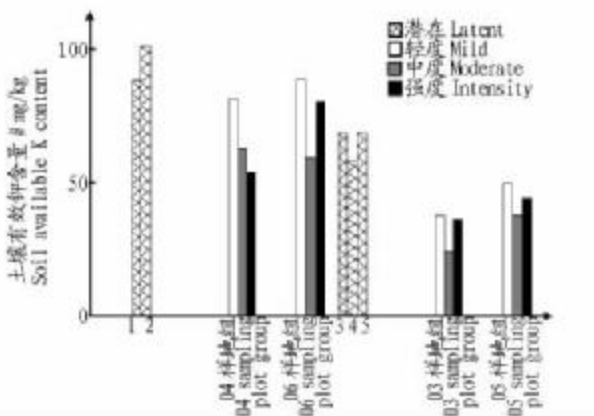


图4 喀斯特石漠化过程中土壤有效钾含量变化

Fig.4 Changes of soil available K content in the process of karst rock desertification

开垦石漠化土壤速效钾含量低于60.00 mg/kg的缺乏临界值,退化明显;石漠化等级增加时土壤有效钾除04样地组呈递减外,其余样地组都以中度等级偏低,轻度略高于或接近强度等级。缓效钾含量在14.38~173.11 mg/kg,平均为106.17 mg/kg,所有样地的土壤缓效钾含量都低于300.00 mg/kg的缺乏临界值。樵采序列不同石漠化等级土壤的缓效钾含量明显高于开垦序列,说明开垦石漠化土壤缓效钾的

缺乏比樵采石漠化更严重;石漠化等级增加时,土壤缓效钾含量呈无规律的变化。

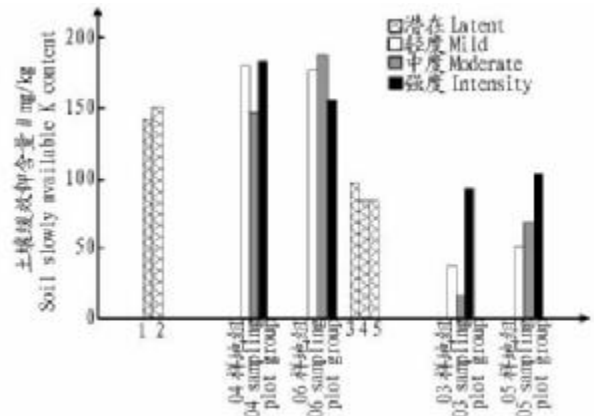


图5 喀斯特石漠化过程中土壤缓效钾含量变化

Fig.5 Changes of soil slowly available K content in the process of karst rock desertification

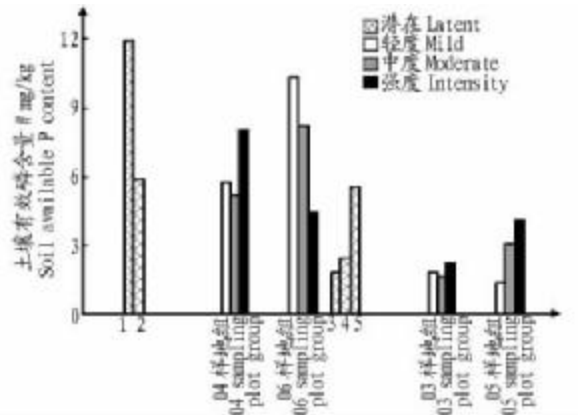


图6 喀斯特石漠化过程中土壤有效磷含量变化

Fig.6 Changes of soil available P content in the process of karst rock desertification

由图6可知,研究区域内有效磷的缺乏较明显,有效磷含量在1.33~11.93 mg/kg,平均为4.94 mg/kg;大部分樵采石漠化土壤的有效磷含量都低于10.00 mg/kg,属于磷素缺乏水平。樵采序列有效磷含量明显高于开垦序列;石漠化过程中土壤有效磷的变化很大,有的随石漠化等级的增加而降低(如06样地组),有的随石漠化等级的增加而增加(如05样地组),有的随石漠化等级的增加呈无规律变化(如04、03样地组)。

2.4 土壤酸碱性及CEC变化 在石灰岩土中,由于土壤空气中的CO<sub>2</sub>含量来源于CaCO<sub>3</sub>的溶解,因而土壤pH值往往比非岩溶区要高,岩溶土壤的pH值一般介于6.00~8.00<sup>[2]</sup>。由图7可知,樵采和开垦石漠化土壤的pH值在7.19~7.76,呈现中性至微碱性,且变化较小。潜在样地较样地组不同石漠化等级有降低的趋势,石漠化过程中,随石漠化等级的增加,除05样地组外,pH值都呈上升的趋势;樵采和开垦序列土壤pH值的差异不明显。

由图8可知,供试土壤阳离子交换能力强,CEC为53.89~112.85 cmol/kg,显著高于陕北农牧交错带荒漠化土壤的CEC值0.92~6.37 cmol/kg<sup>[12]</sup>。由于土壤有机质具有胶体特性,能吸附较多的阳离子,不同石漠化类型和石漠化等级土壤有机碳和CEC的变化一致。樵采石漠化的CEC明显高

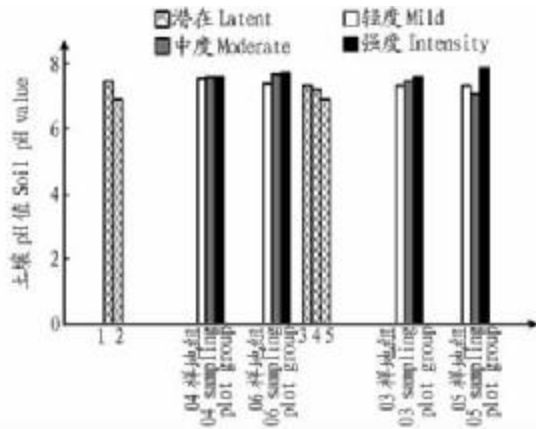


图 7 喀斯特石漠化过程中土壤 pH 值变化

Fig. 7 Changes of soil pH value in the process of karst rock desertification

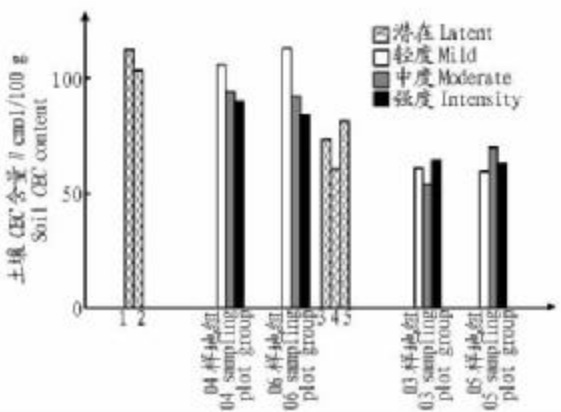


图 8 喀斯特石漠化过程中土壤 CEC 变化

Fig. 8 Changes of CEC in the process of karst rock desertification

于开垦石漠化, 樵采石漠化过程中, 土壤 CEC 呈明显降低趋势, 与石漠化过程有一致性, 樵采石漠化的轻度样地与潜在样地接近; 开垦序列土壤 CEC 除 4 号样地外, 潜在样地开垦明显高于 03、05 样地组的不同石漠化等级, 轻度、中度、强度等级间 CEC 值呈无规律变化。樵采石漠化的黏粒含量(在 11.31% ~ 53.35%) 几乎都低于开垦石漠化(在 52.60% ~ 80.14%), 说明土壤 CEC 与有机碳的关系密切。

2.5 花江与茂兰土壤养分指标比较 由表 1 可知, 凉风洞样地土壤有效钾和缓效钾含量都高于花江小流域样地土壤, 有效钾含量丰富, 缓效钾含量仍处于缺乏的临界水平以下;

表 1 花江与茂兰土壤养分含量比较

Table 1 Comparison of soil nutrition content between Huajiang and Maolan

养分指标 Nutrition index	茂兰 Maolan	含量范围 Content range	花江小流域 Huajiang small watershed	
			樵采 Wood chopping	开垦 Reclamation
土壤有机碳//g/kg	92.10	30.10 ~ 171.50	130.70	55.70
全氮//g/kg	11.20	4.13 ~ 20.16	15.76	6.91
碱解氮//mg/kg	606.90	182.00 ~ 800.30	652.90	340.20
有效钾//mg/kg	145.45	24.51 ~ 101.27	77.11	47.38
缓效钾//mg/kg	168.88	34.75 ~ 173.11	152.65	64.85
有效磷//mg/kg	6.95	1.33 ~ 11.93	7.49	2.68

凉风洞样地土壤有机碳<sup>[4]</sup>、全氮、碱解氮、有效磷含量都在花江小流域样地土壤含量范围内, 都高于开垦序列样地土壤对应的平均值, 但都低于樵采序列样地土壤对应的平均值。这说明茂兰凉风洞原生林下土壤养分含量并不都高于石漠化区域土壤, 花江虽为中强度石漠化区域, 但在樵采干扰形成石漠化的过程中, 对土壤养分含量的影响小, 使其平均养分含量大多高于茂兰, 而开垦对土壤养分含量的影响较大。

3 结论与讨论

(1) 小流域内土壤为中性或偏碱性。由于特殊的成土条件, 土壤有机碳、全氮、碱解氮含量及 CEC 都保持在较高水平, 但有效磷、有效钾含量都偏低, 开垦石漠化几乎都处于缺乏的临界水平以下, 樵采和开垦石漠化的缓效钾远低于缺乏的临界值, 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。低的有效磷、钾含量与特殊的基岩和土壤性质密切相关, 可能是导致岩溶区植被生物量低下的原因之一。

(2) 人为干扰程度的强弱对土壤养分含量有明显影响, 使得樵采序列土壤有机碳、全氮、碱解氮、有效钾含量及 CEC 随石漠化等级增加而降低, 与石漠化过程有一致性, 与石漠化等级有较好的同步性。开垦石漠化的退化主要发生在潜在和轻度、中度、强度等级间。

(3) 不同石漠化成因对土壤养分含量的影响显著不同, 开垦对土壤养分含量的影响远大于樵采的影响。樵采石漠化土壤有机碳、全氮、缓效钾含量及 CEC 都明显高于开垦石漠化, 且大部分碱解氮、有效磷、有效钾含量都高于开垦石漠化, 说明干扰方式比干扰程度对土壤养分含量的影响更大。

(4) 由于岩溶地区独特的成土机理和小生境的高度异质性的影响, 难以在土壤营养成分含量方面将花江石漠化地区与茂兰原始森林地区截然分开, 其中的机理有待于进一步研究。

参考文献

[1] 王健武, 冯远娇, 骆世明. Bt 玉米秸秆分解对土壤酶活性和土壤肥力的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 524-528.

[2] 何子平, 蒋忠诚, 吕维莉. 岩溶动力系统对典型石灰岩土肥力特征的影响[J]. 中国岩溶, 2001, 20(3): 231-235.

[3] 卢红梅, 王世杰. 花江小流域石漠化过程中的土壤有机碳氮的变化[J]. 地球与环境, 2006, 34(4): 41-46.

[4] 王世杰, 卢红梅, 周运超, 等. 茂兰喀斯特原始森林土壤有机碳的空间变异性与代表性土样采集方法[J]. 土壤学报, 2007, 44(3): 475-483.

[5] 兰安军. 基于 GIS-RS 的贵州喀斯特石漠化空间格局与演化机制[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2003.

[6] 李阳兵, 王世杰, 李瑞玲. 不同地质背景下岩溶生态系统的自然特征差异——以茂兰和花江为例[J]. 地球与环境, 2004(1): 9-16.

[7] 熊康宁. 喀斯特石漠化的遥感 3/GIS 典型研究[M]. 北京: 地质出版社, 2002.

[8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 21-253.

[9] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1999: 146-226.

[10] 杨胜天, 朱启疆. 论喀斯特环境中土壤退化的研究[J]. 中国岩溶, 1999, 18(2): 169-175.

[11] 龙健. 喀斯特山区土地利用方式对土壤质量演变的影响[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 76-79.

[12] 常庆瑞, 高亚军, 刘京. 陕北农牧交错带荒漠化土壤肥力水平研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2005, 33(1): 29-33.