

文章编号:1672-9250(2006)04-0041-06

花江小流域石漠化过程中的土壤有机碳氮的变化

卢红梅^{1,2}, 王世杰^{1*}

(1. 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;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100029)

摘要:以花江峡谷区 1.2 km² 小流域为研究对象, 通过设置不同喀斯特石漠化强度的样地, 研究不同等级石漠化样地的土壤有机碳、全氮含量在石漠化过程中的变化。结果表明, 喀斯特生境中土壤具有高度异质性, 人为干扰方式对土壤有机碳、全氮含量变异性的影响很大; 樵采石漠化样地小生境土壤有机碳、全氮含量维持在较高水平, 开垦石漠化样地小生境土壤有机碳、全氮含量较低; 随着石漠化程度的加剧, 樵采和开垦系列样地土壤有机碳、全氮含量呈现不断降低的趋势, 这在一定程度上体现了石漠化过程的土壤退化本质。小流域内石漠化成因类型的划分对揭示石漠化过程中的土壤退化是必须的。

关键词:喀斯特石漠化过程; 开垦和樵采干扰方式; 土壤有机碳氮的变化; 小流域; 花江

中图分类号: X144

文献标识码: A

喀斯特石漠化属于土地荒漠化的范畴^[1], 本质是土地生产力衰退甚至丧失的过程。土地退化包括植被退化、土壤退化和环境退化, 其中, 环境退化是植被和土壤退化的结果^[2]。目前, 喀斯特区石漠化的研究主要集中在石漠化现象描述, 如石漠化与岩性^[3]、土地利用^[4]、土壤类型^[5]的关系以及石漠化随时间的变化^[6]和石漠化现状及分布^[7]等方面。有关喀斯特石漠化强度等级的划分有很多种, 没有统一的标准, 广泛采用的分级方法主要从植被加土被覆盖率、基岩裸露率、坡度、土壤厚度等指标划分的景观分类方法^[8], 该分类方法强调了根据景观现状进行的石漠化程度分级, 没有涉及石漠化过程中的土壤退化问题, 难以从土壤质量退化方面揭示石漠化过程中土地生产力衰退的本质, 也直接影响到石漠化的科学定义。

目前已有的喀斯特区土壤退化资料研究区域较大, 样地常分布在不同地区^[9]、不同县份^[2], 即使在同一地区样地也设置在较大区域内(如 300km²)^[4]。分散的研究区域, 难免有气候、岩性、海拔、土壤发育等条件对土壤的影响, 加之喀斯特生境中土壤性质

的高度异质性, 增加了因素间比较的难度。小流域研究法是目前土壤质量和水土流失研究的通用方法^[10-11]。小流域在喀斯特地区与别的地区表现不一样, 主要是干河谷或喀斯特洼地, 在小流域尺度范围研究喀斯特区石漠化过程的土壤退化本质, 可以减少由地理环境及气候因素对土壤的影响。本文以花江峡谷区内干河谷小流域为研究对象, 通过不同等级石漠化样地土壤有机碳、全氮含量的变化, 探索喀斯特石漠化过程中的土壤退化本质。

1 研究区及研究方法

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°—20°。年均温 18.4 °C, ≥10 °C 积温 6 542 °C, 年均降水量 1 100 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 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^[7,12]。

研究区查尔岩小流域位于峡谷北岸, 面积约为

收稿日期: 2006-04-14; 修回日期: 2006-07-18

基金项目: 中科院科技支黔工程项目; 中科院知识创新前沿领域项目; 贵州省最高科学成就奖科技匹配项目

第一作者简介: 卢红梅(1967—), 女, 博士研究生, 从事环境地球化学及石漠化研究。

* 通讯作者: wangshijie@vip. skleg. cn

1.2 km²,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^[8],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 样地调查

研究区的石漠化强度类型与样地分布见图1。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和05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、下区域选五个潜在石漠化样地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、面积相对较小的小型台地(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 m²;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 土壤样品采集和测定方法

对设置样地划分小生境类型,花江小流域样地内存在的小生境类型与贵州茂兰凉风洞一致^[13],七种小生境类型(石面、土面、石土面、石沟、石洞、石坑和石缝)都有。根据样地小生境类型及其土壤的面积权重值决定采样数量。一般每个土样为同一小生境内3~5点表层土(0~15 cm)的混合样,异质性高的小生境样为5~8点的混合。采样前先除去凋落物覆盖层,草本密集的小生境样则先铲除2 cm左右的表层,17个样地中共采集118个样品。土壤样品风干后,检出石砾和可见的植物根或碎片。

待测土壤有机碳样品需经研磨过0.25 mm筛孔,有机碳含量采用重铬酸钾外加热法测定,全氮含量采用半微量凯氏定氮法测定。

2 结果与分析

2.1 样地土壤有机碳、全氮

土壤有机碳、全氮含量是反映土壤质量、土壤退化的重要指标,其含量直接影响土壤物理、化学和生物学性质。表1中样地土壤有机碳、全氮含量是样地小生境土壤有机碳、全氮含量的面积权重值。小流域17个样地土壤的有机碳、全氮含量变化较大,变化范围分别为34.9~185.7 g/kg和4.00~25.96 g/kg;各样地土壤有机碳、全氮含量范围变化也大,变异系数(CV)绝大部分都大于20%,有些甚至超过50%,土壤有机碳、全氮含量间呈极显著正相关关系。与非喀斯特区如内蒙古高原不同地带性

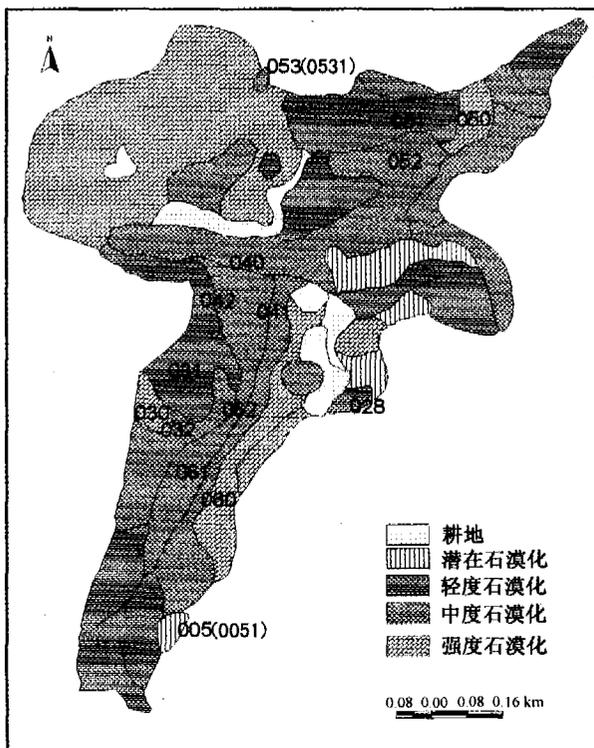


图1 小流域内石漠化强度类型与样地分布示意图

Fig. 1. Distribution of karst rocky desertified lands with different intensities and the sample plots in the regions studied.

表1 各石漠化等级样地土壤有机碳、全氮含量及其变异系数

Table 1. Soil characteristics and its variation in rock desertified plots of different grades

石漠化等级	样地号	土被	植被	基岩	有机碳	全氮	面积权重	面积权重	有机碳	全氮
		覆盖率(%)	覆盖率(%)	裸露率(%)	含量/(g/kg)	含量/(g/kg)	有机碳*/(g/kg)	全氮*/(g/kg)	CV(%)	CV(%)
潜在	028	30.85	>70	<30	42.2~78.1	5.34~7.17	58.8	6.05	30.20	13.72
	005	27.43	>70	<30	49.1~230.3	6.88~23.98	117.6	13.16	57.16	46.15
	0051	22.29	>70	<30	74.3~230.3	8.85~23.98	184.3	17.89	55.52	54.86
	053	48.44	>70	<30	48.1~202.7	5.63~26.43	75.9	8.13	45.25	46.69
	0531	12.06	>70	<30	140.4~202.7	16.67~20.57	185.7	16.08	16.96	27.41
轻度	032	11.11	50~70	30~50	42.4~73.8	4.60~9.19	57.3	6.52	21.55	28.30
	042	6.47	50~70	30~50	68.6~247.4	7.65~27.36	170.0	19.20	48.82	46.30
	051	25.24	50~70	30~50	18.7~55.0	2.17~7.05	45.0	5.71	28.08	29.21
	062	6.61	50~70	30~50	125.9~264.6	16.35~36.94	166.5	25.96	24.26	27.98
中度	031	41.8	30~50	50~70	29.4~37.5	3.64~4.67	34.9	4.00	7.49	8.19
	040	9.72	30~50	50~70	87.2~189.7	12.27~22.21	122.9	16.36	28.97	23.19
	050	23.73	30~50	50~70	36.1~71.9	4.96~8.98	52.7	6.98	15.88	16.50
	061	11.33	30~50	50~70	74.6~188.3	10.10~21.27	119.3	16.87	34.68	34.41
强度	030	18.02	<30	>70	40.8~98.7	4.84~12.70	45.8	5.41	37.76	43.93
	041	11.2	<30	>70	69.1~236.5	10.12~31.53	107.9	15.22	37.87	34.71
	052	15.6	<30	>70	30.6~88.1	4.44~12.07	43.4	5.82	36.50	35.26
	060	6.2	<30	>70	61.8~175.9	8.03~21.81	123.9	15.33	36.07	32.69

注:*处的计算方法见文献[13]。

植被下 96 m² 样地内表层土壤有机碳的变异系数在 5.34%~11.42% 之间^[14] 相比, 喀斯特生境中的土壤具有高度的异质性。

尽管研究区石漠化样地间土壤的有机碳、全氮含量变化较大, 但可清晰地分为两个序列(图 2): 03、05 样地组土壤有机碳、全氮含量较低, 有机碳含量都低于 60.0 g/kg, 土壤全氮含量都低于 7.00 g/kg; 04、06 样地组土壤有机碳、全氮含量较高, 有机碳含量都高于 100.0 g/kg, 全氮含量都高于 15.00 g/kg。同时, 同一样地组内不同等级石漠化样地间差异都较小。野外调查证实, 03、05 样地组的石漠化是由开垦耕种所致(以下简称为开垦序列), 而 04、06 样地组的石漠化是由于对地上植被的樵采所致(以下简称为樵采序列)。由此可见, 喀斯特区不同干扰方式对土壤质量的影响差别很大, 在研究石漠化过程中的土壤退化时, 必须区分石漠化成因类型或人为干扰方式的影响。对于樵采干扰, 不论样地的石漠化强度如何, 样地小生境土壤有机碳、全氮都能维持在较高的范围; 开垦耕种则使样地土壤有机碳、全氮只能维持在较低的范围。从樵采序列样地土壤有机碳、全氮变异系数范围为 24.26%~48.42% 和 23.19%~46.30% 与开垦序列样地的 7.49%~37.76% 和 8.19%~43.93% 之间的对比, 可以看出开垦耕种减弱了小生境内土壤的异质性。

这对于维持喀斯特景观的健康状况是非常不利的。

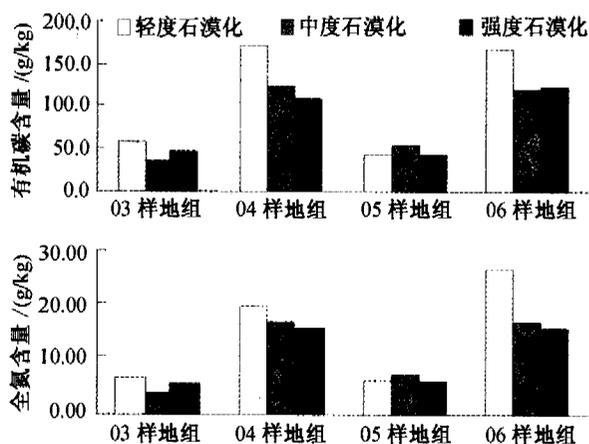


图2 样地组不同石漠化等级样地的土壤有机碳、全氮含量

Fig. 2. Soil organic carbon and total nitrogen contents in rock desertified plots of different grades within the same group.

2.2 土壤有机碳、全氮含量的剖面分布

在自然环境条件下, 由于植物根系的分布、枯落物的聚集、雨水或地表径流的淋溶作用, 土壤质量往往随土层深度的增加而降低, 耕种翻动土层就会扰乱土壤质量在剖面的分布规律。土壤有机碳、全氮在样地典型小生境土壤表层的含量及随土壤剖面深度的变化, 能反映人为干扰方式的不同。图 3 中樵

采序列样地土壤有机碳、全氮在样地典型小生境土壤表层(0—10 cm)的含量都较高,且随土层深度的增加而降低,即使个别有波动,其范围也较小,反映了土壤有机碳、全氮在自然剖面中的变化规律,说明樵采对土壤的扰动小;开垦序列样地土壤有机碳、全氮在样地典型小生境土壤表层(0—10 cm)的含量都较低,除轻度石漠化样地 032 和 051 外,典型小生境土壤有机碳、全氮含量随土层深度的增加而波动,没有规律性,说明开垦耕种对土壤的干扰大。051、032

样地土壤有机碳、全氮含量随土层深度的增加而降低,与其经过长时间退耕,已恢复到植被覆盖率在 50%~70%的灌丛灌草和藤刺灌丛阶段有关。潜在石漠化的次生林灌地样地土壤有机碳、全氮含量有的很高,但土层薄;土层深厚的潜在石漠化样地,如 028 与 053 样地,表层土壤有机碳、全氮含量往往低于樵采样地,并且随土层深度的增加而波动,说明潜在石漠化的土壤仍处于恢复阶段,部分仍受到人为耕种的影响。

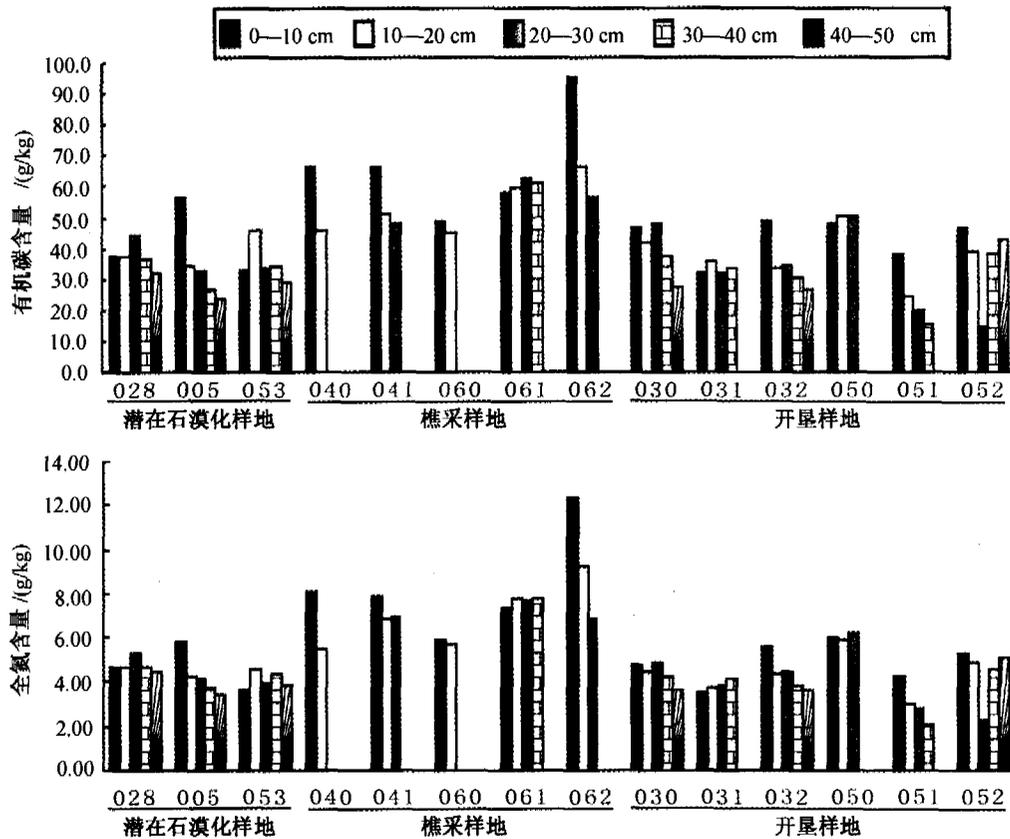


图3 各样地土壤有机碳、全氮含量的剖面分布

Fig. 3. Vertical variations of SOC and total nitrogen with soil depth in the sample plots.

2.3 土壤有机碳、全氮变化与石漠化成因的关系

樵采和开垦诱发的不同等级石漠化样地的土壤有机碳、全氮含量及其变异性见图4,其中开垦序列和樵采序列不同等级石漠化样地的土壤有机碳、全氮含量及其变异系数分别以同等级样地的平均值代表,样地 053、028、005 和 0531、0051 的平均值分别代表开垦和樵采石漠化的潜在石漠化等级。对同一扰动方式下石漠化过程的土壤有机碳、全氮含量的变化而言,在樵采导致的石漠化过程中,随着石漠化程度的加剧,土壤有机碳含量不断降低,与石漠化过

程有方向的一致性,与石漠化程度有等级的同步性;土壤全氮含量随石漠化程度加剧的降低稍有波动,但都能体现石漠化过程与土壤退化一致的关系。樵采石漠化过程中土壤有机碳、全氮含量的下降是逐步降低或下降中有波动,这与樵采石漠化过程中,由于地面生物量的减少导致土壤生物累积量相应降低,同时植被覆盖率降低时,雨水和地表径流对土壤有机碳、全氮的淋失作用增大有关,樵采石漠化过程是植被和土壤的退化序列。在开垦导致的石漠化过程中,随着石漠化程度的加剧,土壤有机碳、全氮含量不断降低,与石漠化过程有方向的一致性,只是强

度石漠化的土壤有机碳、全氮含量略高于中度石漠化。开垦石漠化过程中土壤有机碳、全氮含量的降低在潜在石漠化与其它石漠化等级间很明显,而在轻度、中度、强度石漠化等级间变化较小。花江地区的土地一经开垦,不但砍光林地或灌丛等地上植被,往往将地下的树根都刨除,经过长期的耕种土壤有机碳、全氮含量便大幅度降低。撂荒地经不同时期的恢复,形成了不同的石漠化等级,因此,开垦石漠化的形成过程是植被和土壤的恢复序列。而撂荒地土壤质量的恢复需要很长的时间,少则几十年多则上百年。不同干扰方式形成石漠化过程的土壤有机碳、全氮含量虽然都是降低的,但不同干扰方式间土壤有机碳、全氮含量差异很大,以至于将樵采和开垦石漠化过程截然分开。这与其它地区砍伐不会影响土壤肥力状况^[15],而开垦导致土壤肥力或理化性质的大幅度下降^[16-17]的结论是一致的,也说明将所研究小流域的石漠化过程按干扰方式的不同分别进行考虑是必需的。

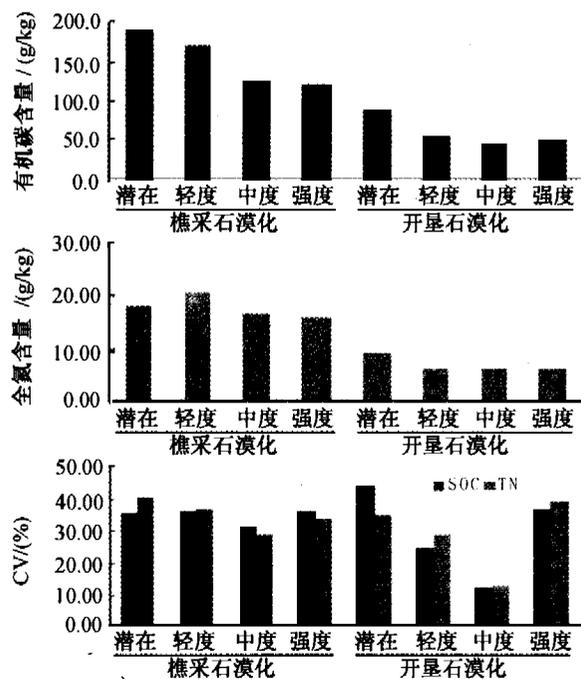


图4 樵采和开垦石漠化过程的土壤有机碳、全氮含量及其变异性

Fig. 4. Values of SOC and total nitrogen and its variations in the process of rock desertification induced by firewood gathering and reclamation.

对石漠化过程中样地土壤有机碳、全氮变异性而言,随着石漠化程度的加剧,樵采和开垦序列样地土壤有机碳、全氮的小生境变异性都有降低趋势,只是樵采石漠化过程降低的幅度小,开垦石漠化过程降低的幅度大。强度樵采和开垦石漠化样地土壤有机碳、全氮的变异性都有所增加,有的甚至高于潜在等级。该结果可能是随着森林的破坏,植被对样地小生境多样性或异质性的作用减弱,小生境的异质性就逐渐变得仅与喀斯特地貌本身作用的结果有关。喀斯特地貌作用形成的样地小生境类型和小生境中土壤的侵蚀和沉积对小生境土壤有机碳、全氮含量的影响很大^[13],强度石漠化样地由于石面面积较大且破碎度增加,土壤面积小的小生境人为利用难度大,能保持较高的小生境异质性。

3 结论

花江小流域石漠化过程中的土壤有机碳、全氮含量在同等级石漠化样地间的变化幅度明显高于样地组不同等级石漠化样地间的变化,这种差异来源于样地组间不同人为干扰方式的影响。樵采对土壤质量的影响远小于开垦的影响,不论石漠化程度如何,樵采系列样地土壤有机碳、全氮含量维持在较高的水平,开垦系列样地土壤有机碳、全氮含量则低得多,因此石漠化形成过程中土壤退化及石漠化等级的划分必须考虑石漠化土地的成因类型或人为干扰方式^[18]。

对于同一人为扰动方式形成的石漠化过程,土壤有机碳、全氮含量的降低趋势与石漠化程度的演变方向是一致的,体现了石漠化形成过程中土壤退化的本质;土壤有机碳、全氮含量在樵采和开垦石漠化过程中的差异也体现了不同人为干扰方式对石漠化过程的影响作用。人为不合理的干扰方式导致石漠化形成在不同地区有一定差别,除毁林开垦、过度樵采外,还有烧灰积肥、荒坡放牧、采矿和建设工程等,喀斯特石漠化治理的前提应进行土地石漠化成因类型分析,根据各自的成因机制,制定相应的恢复治理模式。

参 考 文 献

- [1] Wang S J, Liu Q M, Zhang D F. Karst rock desertification in southwestern China: geomorphology, land use, and impact and rehabilitation[J]. Land Degradation & Development, 2004, 15(1): 115-121

- [2] 王德炉. 喀斯特石漠化的形成过程及防治研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2003, 6: 16—18
- [3] 李瑞玲, 王世杰, 周德全, 等. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的空间相关分析[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 314—320
- [4] 龙键, 黄昌勇, 李娟. 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
- [5] 胡宝清, 黄秋燕, 廖赤眉, 等. 基于 GIS 与 RS 的喀斯特石漠化与土壤类型的空间相关性分析—以广西都瑶族自治县为例[J]. 水土保持通报, 2004, 24(5): 67—70
- [6] 王连庆, 乔子江, 郑达兴. 渝东南岩溶石山地区石漠化遥感调查及发展趋势分析[J]. 地质力学学报, 2003, 9(1): 78—84
- [7] 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研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2003
- [8] 熊康宁. 喀斯特石漠化的遥感—GIS 典型研究[M]. 北京: 地质出版社, 2002
- [9] 刘方, 王世杰, 刘元生, 等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 639—644
- [10] Cambardella C A, Moorman T B, Andrews S S, et al. Watershed-scale assessment of soil quality in the loess hills of southwest Iowa[J]. Soil & Tillage Research, 2004, 78: 237—247
- [11] Sharma E, Rai S C, Sharma R. Soil, water and nutrient conservation in mountain farming systems; Case-study from the Sikkim Himalaya[J]. Journal of Environmental Management, 2001, 61: 123—135
- [12] 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, 32(1): 9—16
- [13] 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, 出版中
- [14] 白永飞, 许志信, 李德新. 内蒙古高原针茅草原群落土壤水分和碳、氮分布的小尺度空间异质性[J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1215—1223
- [15] 张成娥, 陈小利. 林地砍伐开垦对土壤酶活性及养分的影响[J]. 生态学杂志, 1998, 17(6): 18—21
- [16] 章明奎. 低丘红壤林地开垦利用过程中土壤肥力退化的数值分析[J]. 浙江大学学报, 1999, 33(1): 101—106
- [17] 查小春, 唐克丽. 黄土丘陵林区开垦地人为加速侵蚀与土壤物理力学性质的时间变化[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 20—23
- [18] 王世杰, 李阳兵. 生态建设中的喀斯特石漠化分级问题[J]. 中国岩溶, 2005, 24(3): 192—195

CHANGES IN SOIL ORGANIC CARBON AND TOTAL NITROGEN IN THE PROCESS OF ROCK DESERTIFICATION IN HUAJIANG WATERSHED

LU Hong-mei^{1,2}, WANG Shi-jie^{1*}

(1. State Key Laboratory of Environment Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract

The Huajiang area is a typical gorge area with medium-serious karst rock desertification; the research area is a 1.2 square kilometer watershed, where the major lithosphere is successive limestone. The research object is changes in soil organic carbon and total nitrogen contents in rock desertification plots of different grades. The results showed that the soil of karst habitats had high variability, the anthropogenic disturbing ways evidently influenced the SOC and total nitrogen contents and variabilities. The SOC and total nitrogen contents of microhabitat were high in the wood chopping rock desertification plots, while the SOC and total nitrogen contents of microhabitat remained low in the reclamation rock desertification plots. The SOC and total nitrogen contents of SOC and total nitrogen in the areas of wood chopping rock desertifications are evidently higher than those in the areas of reclamation rock desertifications; and the vertical distributions of SOC and total nitrogen contents in different plots could also embody the influence of wood chopping and reclamation disturbing ways. As for the process of rock desertification, the decrease of SOC and total nitrogen contents and the increase of wood chopping rock desertification grades proceeded in the same direction, so did the reclamation rock desertification process. To some extent, this result could embody the essence of soil degradation along with the process of rock desertification. In order to reveal the relationship between the process of rock desertification and soil degradation, it is necessary to classify rock desertification genetic types in the watershed studied.

Key words: process of karstrock desertification; wood chopping and reclamation disturbance way; changes in soil organic carbon and total nitrogen contents; watershed; Huajiang