

顾展飞,刘琦,卢耀如. 贵州贞丰—关岭花江喀斯特石漠化过程中岩土体化学元素含量与石漠化差异性关系研究[J]. 中国岩溶, 2016,35(5):533-538.
DOI:10.11932/karst20160509

贵州贞丰—关岭花江喀斯特石漠化过程中岩土体化学元素含量与石漠化差异性关系研究

顾展飞,刘琦,卢耀如

(1. 同济大学土木工程学院地下建筑与工程系,上海 200092;
2. 教育部城市环境与可持续发展联合研究中心,上海 200092)

摘要:不同等级石漠化地区岩体和土体中化学元素有较大的差异,表现在石漠化演化过程中不断被改变,化学元素的差异性对石漠化等级差异性的形成有着内在的关联性。文章以贵州贞丰—关岭花江石漠化治理示范区为研究区,选取11处样地的岩石样和土样,对其进行室内实验分析,以了解该地区岩石和土壤的化学元素含量,从而研究其含量的差异性与石漠化等级之间的关系。结果显示:①岩体中CaO/MgO的值越大,Rb/Sr值越低,石漠化等级越高。②在碳酸盐母岩逐渐溶蚀和风化成土的过程中,岩体中Ca、Mg离子被带走,导致成土后土体中Ca、Mg离子含量降低,但强度石漠化地区的土体中Mg离子含量却增加。③不同等级石漠化地区的样品化学元素流失和富集的程度略有差异,一般强度和潜在石漠化地区(离子)含量要高于轻度 and 中度石漠化地区。④土体中Rb/Sr值越大,石漠化等级越强。该研究可以为示范区的水土流失及石漠化治理提供理论和实践依据。

关键词:喀斯特地区;石漠化;水土流失;化学元素;差异性

中图分类号:X171;P595

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2016)05-0533-06

0 引言

石漠化是指在脆弱喀斯特环境下,人类不合理的社会经济活动,造成人地矛盾突出,植被破坏,水土流失,岩石逐渐裸露,土地生产力衰退甚至丧失,地表呈类似于荒漠化景观的演变过程和结果^[1]。我国的石漠化区主要分布在以贵州省为中心的贵州、云南、广西等三省(区),其中贵州省石漠化面积达35 920 km²,占其国土面积的20.39%,石漠化已经严重威胁区域的经济甚至人类生存^[2-3]。长期以来,不少地学工作者对中国南方喀斯特石漠化的概念、分布、特点、成因、影响因素和治理方面进行了大量研究,得

到了一些有价值的认识^[4-8]。

石漠化的直接成因是人为或自然因素造成的水土流失。对于喀斯特地区水土流失规律已进行了大量的研究:土壤的流失量与流失速率方面来分析水土流失石漠化成因的影响^[9-11];土壤的理化性质差异对于不同等级石漠化成因的影响^[12-13];碳酸盐岩的岩性特征及风化成土作用对石漠化成因的影响^[14-15]等等。但以上研究很少关注岩石成土过程中及土壤流失过程中化学元素的变化与不同等级石漠化成因之间的关系。土壤中化学元素随水迁移转化是水土流失的重要组成部分,而水土流失又是示范区石漠化的直接影响因素,所以研究岩石及土壤中化学元素的

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41302220, 41201565);国家重点基础研究发展计划(973)项目(2013CB036001)

第一作者简介:顾展飞(1985—),男,博士研究生,主要从事水文地质工程地质的学习和研究。E-mail: guzhanfei2005@163.com。

通信作者:刘琦(1980—),女,副研究员,主要从事水文地质工程地质的教学和研究。E-mail: liuqi472@163.com。

收稿日期:2016-04-26

含量及其差异性变化,对于研究石漠化的差异性具有重要的意义。本文结合贵州贞丰关岭花江示范区内地形地貌及土地利用模式等条件,对该地区不同等级石漠化的形成机理进行研究分析,从而为示范区的水土流失及石漠化治理提供理论和实践依据。

1 研究区概况

贞丰—关岭花江示范区位于贵州西南部,关岭县以南、贞丰县以北的北盘江花江峡谷两岸。总面积 51.62 km²,喀斯特面积占总面积的 87.92%,海拔 500~1 200 m,相对高差 700 m,是贵州高原上一个典型的喀斯特峡谷区域。该区出露地层主要为中、上三叠统地层,有杨柳组、垄头组碳酸盐岩组,质纯层厚,碳酸盐岩占 95% 以上,整个流域处于高原面向北盘江倾斜的大缓坡上,峰丛洼地、峰丛谷地随处可见;冬春温暖干旱,夏秋湿热,热量资源丰富;年均温 18.4℃,年均最高气温为 32.4℃,年均最低气温为 6.6℃,年均降水量 1 100 mm,但时空分布不均,多暴雨,5—10 月降水量占全年总降水量的 83%。由于人类活动破坏,研究区内森林覆盖率很低,除在一些

村寨的四周有树林分布,在一些陡峻的峰丛顶部尚残存少量灌丛外,其余大部分地区因长期而强烈的水上流失,而基岩裸露,石漠化十分严重,裸岩面积比重达 70% 以上。由于坡度大,成土速度极低,地表水流与地下水流的水平与垂直强烈交替,土壤侵蚀剧烈,日趋剧烈的土壤侵蚀和石漠化严重制约着当地居民生存条件和经济发展。

2 研究方法

2.1 土壤样品的采集

取样地点选在花江峡谷石漠化治理示范区查尔岩小流域。按强度、中度、轻度、潜在石漠化等级设置 11 个样地,其大小一般为 20 m×10 m。结合地形图与手持 GPS 野外测量结果,绘出各样地在示范区内的分布图(图 1),各样地基本情况见表 1。在同一样地分别采集土样和岩样,岩样在露头处用锤子敲击采集,土样采用环刀现场采集表层土壤(0~30 cm)样品。采集完成后编号,然后带回实验室测定土体物理、化学及力学性质。

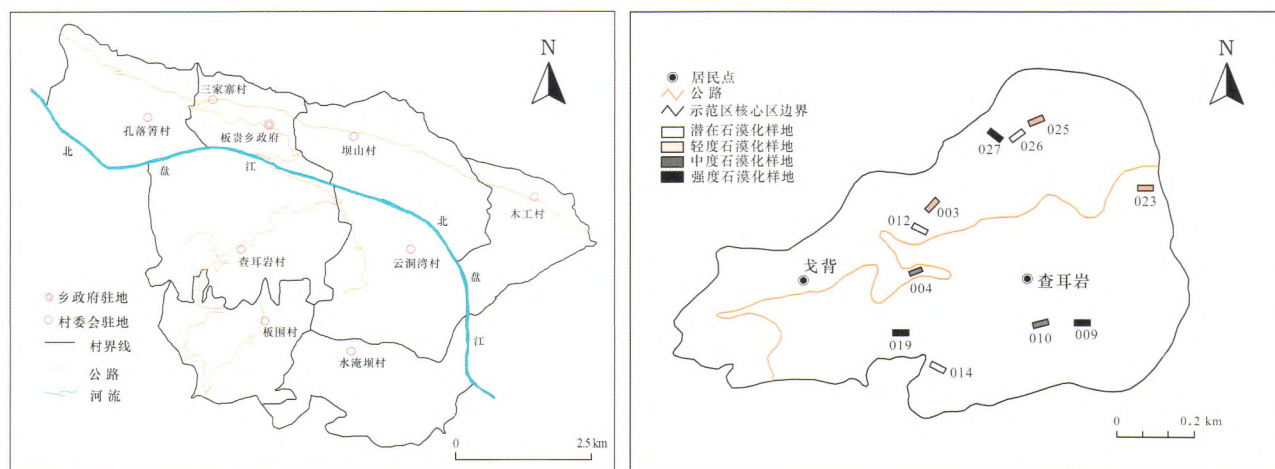


图 1 贞丰—关岭花江示范区土样样地分布

Fig. 1 The distribution of soil samples in Zhenfeng—Guangling Huajiang demonstration area

2.2 岩石和土壤样品的测定

将带回的岩样和土样在室内烘干,磨碎,过筛。称取制备好的样品 5 g,倒入放置有钢圈且表面光滑的工具钢块上,钢圈外周用硼砂包裹,摊铺均匀后放入压力机中,在 400 KN 的压力下压成饼状。为了减

少外界元素的干扰,整个样品的制作过程均采用陶瓷或玛瑙用具。实验仪器采用荷兰帕纳科公司生产的 Axios mAx 型的 X 射线荧光光谱仪(仪器功率为 2.4~4.0 kw,测试元素范围 B—U,最大电流 160 mA)。测试结果见表 2 和表 3。

表 1 贞丰—关岭花江示范区样地基本情况(部分数据引自[16])

Table 1 The basic situation of samples points in Zhenfeng—Guangling Huajiang demonstration area

样地号	样号	地貌	海拔/m	坡度/°	坡向	岩石裸露率/%	石漠化等级	植被配置方式
012	1	槽谷	735	0	NW	6	潜在	疏松耕地
014	2	峰丛台地	800	0	NW	0	潜在	耕地
026	3	峰丛台地	700	0	SE	0	潜在	灌木丛地
003	4	槽谷边坡	745	40	SE	45	轻度	林地
023	5	侵蚀陡坡	665	45	SE	60	轻度	花椒林地
025	6	峰丛台地	695	0	SE	60	轻度	油菜地
004	7	峰丛台地	772	20	NW	70	中度	花椒林地
010	8	侵蚀沟谷	820	25	NW	72	中度	花椒,杂草
009	9	溶沟石牙	893	30	NW	72	强度	花椒,杂草
019	10	溶沟石牙	865	30	NW	78	强度	花椒林地
027	11	溶沟石牙	715	15	SE	75	强度	油菜地

表 2 贞丰—关岭花江示范区岩石样化学成分分析表

Table 2 Chemical composition of rock samples in Zhenfeng—Guangling Huajiang demonstration area

样号	MgO/ %	CaO/ %	SiO ₂ / %	Al ₂ O ₃ / %	Fe ₂ O ₃ / %	Mn/ ppm	Rb/ ppm	Sr/ ppm	Rb/Sr/ ppm	CaO/ MgO/ ppm
R1	17.993	30.955	2.361	1.092	0.101	49.5	5.3	85.4	0.062	1.72
R2	18.163	30.824	1.889	0.838	0	8.4	4.6	70.7	0.065	1.70
R3	17.214	29.701	4.231	1.752	0.281	33.3	6.2	88.7	0.070	1.73
R4	9.613	42.142	3.156	1.477	0.098	186.6	7.8	185.8	0.042	4.38
R5	7.885	46.41	2.756	1.277	0.119	167.7	6.7	164	0.040	5.89
R6	9.402	39.125	3.601	1.7	0.242	27.6	4.1	85.2	0.048	4.16
R7	2.748	51.221	2.265	0.937	0.034	28.4	2.2	148.7	0.015	18.64
R8	2.46	48.689	5.901	1.609	0.417	512.3	8.2	523.7	0.016	19.79
R9	0.691	53.752	2.012	0.88	0	18.5	0.5	111.9	0.004	77.79
R10	0.546	53.22	2.123	0.912	0	12.4	1.0	171.3	0.006	97.47
R11	0.437	52.018	4.268	1.279	0.172	346.8	5.2	606.5	0.009	119.03

由表 2 知:示范区内 11 处样地岩石样品中 CaO/MgO 的比值越大,Rb/Sr 比值越低,石漠化等级越高,即示范区内石漠化的强度随岩石样品中 CaO/MgO 的比值增大而增强,随 Rb/Sr 比值的增大而降低。

根据方解石和白云石的相对含量划分岩石类型^[17-18],CaO/ MgO> 50.1 时为纯石灰岩;9.1<

CaO/ MgO≤50.1 时为含白云的石灰岩;4.0<CaO/ MgO≤9.1 时为白云质灰岩;2.2<CaO/ MgO≤4.0 时为灰质白云岩;1.5<CaO/ MgO≤2.2 时为含灰的白云岩;1.4<CaO/ MgO≤1.5 时为纯白云岩。所以,示范区内石漠化等级顺序也即为纯石灰岩地区>含白云的石灰岩地区>白云质灰岩地区>灰质白云岩地区>含灰的白云岩地区>纯白云岩地区。

表 3 贞丰—关岭花江示范区土样化学成分分析表

Table 3 Chemical composition of soil samples in Zhenfeng—Guangling Huajiang demonstration area

样号	MgO/ %	CaO/ %	SiO ₂ / %	Al ₂ O ₃ / %	Fe ₂ O ₃ / %	Mn/ ppm	Rb/ ppm	Sr/ ppm	Rb/Sr/ ppm
S1	2.519	5.177	43.174	18.964	9.427	8406.8	112.4	199.7	0.563
S2	3.424	0.769	44.166	26.629	11.389	4136.1	119.7	192.3	0.622
S3	2.357	6.678	59.555	14.092	10.153	6561.8	533	758.7	0.703
S4	1.570	13.312	52.830	20.699	9.494	2649.4	98.6	77.8	1.267
S5	2.090	16.704	33.867	18.401	9.474	3241.2	57.3	46.9	1.222
S6	2.011	15.004	33.423	11.852	4.418	2139.7	84.1	64.1	1.312
S7	2.274	1.417	45.461	25.008	9.498	2545.6	96.6	56.2	1.719
S8	3.383	3.413	40.620	22.634	8.642	2014.9	62.5	38.7	1.615
S9	2.558	3.981	41.482	25.187	11.419	3111.2	124.1	53.5	2.320
S10	2.429	6.069	51.208	20.354	11.909	2268.6	186.2	74	2.516
S11	1.945	3.403	49.513	22.969	12.86	2657.2	189.6	67.2	2.821

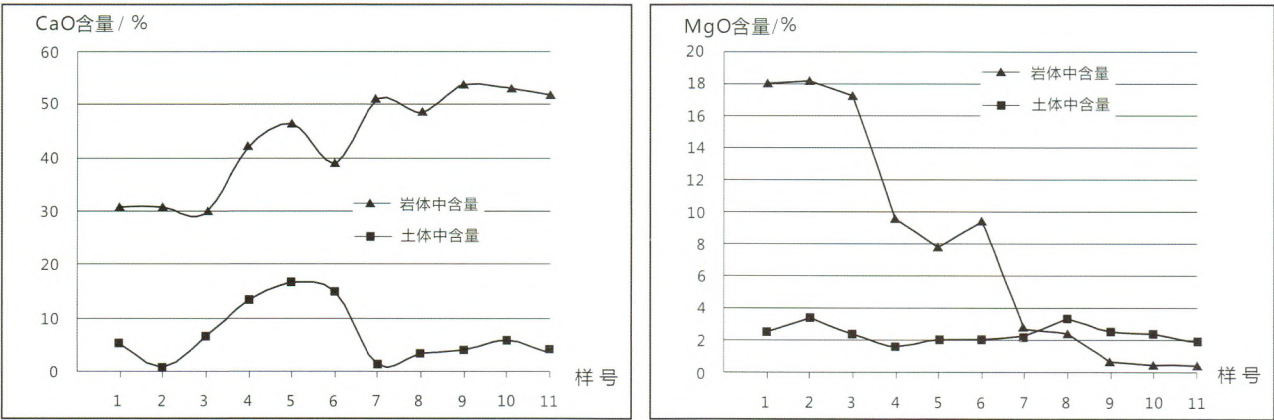


图 2 贞丰—关岭花江示范区岩体和土体中 CaO 和 MgO 含量对照图

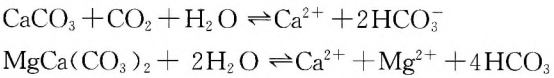
Fig. 2 The comparison of CaO and MgO content in rock and soil samples in Zhenfeng—Guangling Huajiang demonstration area

由表 2、表 3 和图 2 知：在碳酸盐母岩逐渐溶蚀和风化成土的过程中，岩体中 Ca、Mg 离子被带走，导致成土后含量降低，但强度石漠化地区的土体中的 Mg 离子含量却增加。示范区内土体中部分 SiO₂、AlO₂、Fe₂O₃、Mn、Ti、P、Rb、Sr 等元素逐渐富集，不同等级石漠化地区的样品化学元素流失和富集的程度略有差异，一般强度和潜在石漠化地区含量要高于轻度和中度石漠化地区。另外，示范区内土体中 Rb/Sr 比值越大，石漠化等级越强，即 Rb/Sr 比值随着石漠化强度的提高而提高。

2.3 测定结果的分析与讨论

示范区的碳酸盐岩母岩主要是裸露至半裸露的碳酸盐岩及碎屑岩，在气候湿润，水循环作用强烈的情况下易发生化学溶蚀。石灰岩和白云岩在 CO₂ 的

水溶液中溶解的反应式如下：



随着反应的进行，石灰岩和白云岩不断被溶蚀和风化，导致从岩石到土的过程中，MgO 和 CaO 的含量不断减少。从化学元素分析中可以看出，示范区内等级较强的石漠化主要发生在石灰岩地区。石灰岩母岩本身 Mg 离子含量较低，另外，再加上强度石漠化地区水土流失严重，土壤层较薄，虽然风化成土过程中元素的迁移和富集会导致其含量提高，但总体含量跟其他区域基本一致。

碳酸盐岩溶蚀的过程主要是方解石和白云石的化学淋失过程，速度快，残留物少。Ca 和 Mg 离子流失，但 Si、Fe、Al 等元素却很少移动，含量基本保持不

变,因此 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 Mn 等元素相对含量的升高。

铁、锰除了相对含量升高以外,自身还会发生集聚、积累现象,形成铁锰结核^[19-20]。一般认为,铁锰结核的形成是土壤在渍水还原条件下,铁锰氧化物还原成 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} ,在 MnO_2 的催化下, Fe^{2+} 快速氧化并沉积在 MnO_2 表面,土壤进一步变干,周围的活性 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 又被氧化沉积在铁锰氧化物表面,干湿交替,氧化还原的反复进行,形成铁锰聚合物—铁锰结核^[21-22]。

Rb 是典型的分散元素,在自然界中主要以类质同象的形式分布于各类造岩矿物中,很少形成独立矿物。在表生风化过程中这些矿物被分解并释放出 Rb,被释放的 Rb 很容易被富含 K 的粘土所吸附,只有一小部分被迁移或淋溶。Sr 也是典型的分散元素,由于 Sr^{2+} 在表生环境中的地球化学行为更类似于 Ca^{2+} ,较易以游离 Sr 的形式(主要以碳酸盐形式)随土壤溶液或地表水进行迁移,结果导致地层中大量的 Sr 被淋溶。

Rb/Sr 值可以反映母岩的风化程度^[23],一般来说,Rb/Sr 值越高,化学风化作用越强烈。引起化学风化作用的主要因素是水和氧。自然界的水,不论是雨水、地面水或地下水,都溶解有多种气体(如 O_2 、 CO_2 等)和化合物(如酸、碱、盐等),因此自然界的水都是水溶液。水溶液可通过溶解、水化、水解、碳酸化等方式促使岩石化学风化。氧的作用方式是氧化作用。岩石中化学风化作用越强,其成土速率越高,发生石漠化的可能性就越小,石漠化发育等级也较低。

石灰岩的矿物颗粒细小,结构致密,粒间孔隙度小,受各种构造应力时,石灰岩易产生张性节理裂隙,加速溶蚀作用的进行。而白云岩矿物颗粒粗大,粒间和晶间孔隙均较发育,白云岩形成的节理及裂隙密集而均匀,从而提高了近地表白云岩的含水能力,有利于岩石的整体风化作用的进行;同时白云岩风化壳基岩面起伏相对较小,风化残积形成的土壤分布也相对均匀。因此,白云岩地区石漠化程度要弱于石灰岩地区^[21]。

石漠化的发生、发展过程,实际上就是在脆弱的生态环境地质背景下,人为活动破坏生态平衡所导致的地表覆盖度降低的土壤侵蚀过程。长期以来,人们一直认为石漠化生态系统土壤退化随石漠化程度增加而增强,而实际并非如此,而是随着石漠化程度的增加先退化后改善的一个过程。强度石漠化和无石漠化土壤条件明显好于其他等级石漠化环境,潜在和

轻度石漠化土壤条件反而是最差的^[13]。由于森林植被破坏,土壤养分随水土流失而流失,导致土壤退化。随着石漠化等级不断增加,裸露岩石集聚效应逐渐明显,汇集大气沉降养分和喀斯特产物,增加了土壤氮素和有机物的输入。同时随着石漠化程度增加,可流失的土壤越来越少,导致水土流失越来越弱,在强烈的裸露岩石集聚效应和微弱的水土流失作用下,强度石漠化环境土样物理和力学性能得到了明显的改善。

3 结 论

不同等级石漠化地区岩体和土体中化学元素有较大的差异,化学元素的差异性对石漠化等级差异性的形成具有内在的关联性。通过对贵州贞丰—关岭花江喀斯特石漠化过程中岩土体化学元素含量变化的研究,可以得到以下结论:

(1)岩体中 CaO/MgO 值越大,Rb/Sr 值越低,石漠化等级越高。即石漠化的强度随母岩中 CaO/MgO 值增大而增强,随 Rb/Sr 值的增大而降低。

(2)在碳酸盐母岩逐渐溶蚀和风化成土的过程中,岩体中 Ca、Mg 离子随水土流失被带走,导致成土后含量降低,但强度石漠化地区的土体中的 Mg 离子含量却增加。

(3)地表氧化还原条件、pH 值的改变及微生物作用,致使土壤中部分 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 Mn 、Ti、P、Rb、Sr 等元素逐渐富集。不同等级石漠化地区的样品化学元素流失和富集的程度却略有差异,一般强度和潜在石漠化地区元素含量要高于轻度和中度石漠化地区。

(4)跟岩体中相反,土体中 Rb/Sr 比值越大,石漠化等级越强,即土体中 Rb/Sr 值随着石漠化强度的提高而提高。

参考文献

- [1] 熊康宁,黎平,周忠发,等.喀斯特石漠化的遥感——GIS 典型研究:以贵州省为例[M].北京:地质出版社,2002,81-88.
- [2] 熊康宁,梅再美,彭贤伟,等.喀斯特石漠化生态综合治理与示范典型研究:以贵州花江喀斯特峡谷为例[J].贵州林业科技,2006,34(1):5-8.
- [3] 王世杰,李阳兵.喀斯特石漠化研究存在的问题与发展趋势[J].地球科学进展,2007,22(6):573-582.
- [4] 袁道先.我国西南岩溶石山的环境地质问题[J].大自然探索,1996,15(58):21-23.
- [5] 蔡运龙.中国西南岩溶石山贫困地区的生态重建[J].地球科学进展,1996,11(6):602-606.
- [6] 熊康宁,陈起伟.基于生态综合治理的石漠化演变规律与发展趋

- 势讨论[J]. 中国岩溶, 2010, 29(3): 267-273.
- [7] 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.
- [8] 王世杰, 李阳兵, 李瑞玲. 喀斯特石漠化的形成背景、演化与治理[J]. 第四纪研究, 2003, 23(6): 657-666.
- [9] 李阳兵, 王世杰, 王济. 岩溶生态系统的土壤特性及其今后研究方向[J]. 中国岩溶, 2006, 25(4): 285-289.
- [10] 蒋忠诚, 罗为群, 邓艳, 等. 岩溶峰丛洼地水土流失及防治研究[J]. 地球学报, 2014, 35(5): 535-542.
- [11] 熊康宁, 李晋, 龙明忠. 典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J]. 地理学报, 2012, 67(7): 878-888.
- [12] 王恒松, 熊康宁, 刘云. 喀斯特区地下水水土流失机理研究[J]. 中国水土保持, 2009, (8): 11-15.
- [13] 盛茂银, 刘洋, 熊康宁. 中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应[J]. 生态学报, 2013, 33(19): 6303-6313.
- [14] 王世杰, 季宏兵, 欧阳自远, 等. 碳酸盐岩风化成土作用的初步研究[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(5): 441-449.
- [15] 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相关分析[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 314-320.
- [16] 贺祥, 熊康宁, 李晨, 等. 岩溶山区石漠化生态治理的土壤质量效应研究: 以贵州省花江峡谷石漠化治理示范区为例[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(5): 99-102.
- [17] 曾允孚, 夏文杰. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1986: 159-170.
- [18] 朱崧敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 182-183.
- [19] 李永华, 王五一, 谭文峰, 等. 土壤铁锰结核中生命有关元素的化学地理特征[J]. 地理研究, 2001, 20(5): 609-615.
- [20] 苏春田, 唐健生, 单海平, 等. 黎塘岩溶区土壤铁锰结核的地球化学特征研究[J]. 中国岩溶, 2008, 27(1): 43-49.
- [21] Burns R G, Burns V M. Mechanism for nucleation and growth of manganese nodules[J]. Nature (London), 1975, 255: 130-131.
- [22] 谭文峰, 刘凡, 李永华, 等. 土壤铁锰结核中锰矿物类型鉴定的探讨[J]. 矿物学报, 2000, 20(1): 63-67.
- [23] 黄明. 浅析 Rb/Sr 比值在第四纪古气候及古环境研究中的应用[J]. 科协论坛, 2012, (3下): 132-133.
- [24] 孙承兴, 王世杰, 周德全, 等. 碳酸盐岩差异性风化成土特征及其对石漠化形成的影响[J]. 矿物学报, 2002, 22(4): 308-314.

Relationships between the rock and soil chemical element contents and rocky desertification difference in karst rocky desertification process: A case study on the Zhenfeng—Guanling Huajiang area of Guizhou Province

GU Zhanfei, LIU Qi, LU Yaoru

(1. Department of Geotechnical Engineering, college of civil engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Joint Research Center of Urban Environment and Sustainable Development, Ministry of Education, Shanghai 200092, China)

Abstract The Zhenfeng-Guanling—Huajiang rock desertification demonstration area is a typical karst canyon in Guizhou, where the water and soil losses are serious and many places have suffered from intense rocky desertification. In order to study the intensity and diversity of rocky desertification in the area, 11 rock and soil samples from the 11 quadrats in the demonstration were collected and their chemical compositions were analysed. The results show that, (1) When the ratio of CaO/MgO in rock is larger and ratio of Rb/Sr is lower, the level of rocky desertification is higher. It means the strength of rocky desertification increases with the ratio of CaO/MgO increasing, and reduces with the ratio of Rb/Sr increases. (2) In the process of carbonate rock dissolution and weathering into the soil, Ca and Mg ions in rocks are taken away. As a result, their contents in the rock are accordingly reduces, while the content of Mg ion in soil increases in intense rocky desertification areas. (3) The degree of chemical element loss and concentration has slightly differences in different rocky desertification areas. Generally the content in strong and potential rocky desertification area are higher than the mild and moderate rocky desertification area. (4) The ratio of Rb/Sr in the soil is higher, the degree of rocky desertification is more intense, that is the ratio of Rb/Sr increases with the intensity of growing rocky desertification. According to the different chemical elements in different rock desertification areas, this work studies the mechanism of water and soil loss in this area, which provides theoretical and practical basis for research of the water and soil loss and rocky desertification control in the demonstration area.

Key words karst area, rock desertification, water and soil loss, chemical element, differences

(编辑 张玲)