

刘胤序,罗绪强,贾佳丽,等. 喀斯特石漠化过程中土壤重金属铬的含量特征[J]. 江苏农业科学,2019,47(3):265-268.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.03.063

喀斯特石漠化过程中土壤重金属铬的含量特征

刘胤序^{1,2}, 罗绪强^{3,4}, 贾佳丽^{1,2}, 刘海红^{1,2}, 李 军²

(1. 天津师范大学地理与环境科学学院, 天津 300387; 2. 天津师范大学水资源与水环境重点实验室, 天津 300387;

3. 贵州师范学院地理与资源学院, 贵州贵阳 550018; 4. 中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站, 贵州普定 562100)

摘要:铬(Cr)是一种分布较广的重金属元素,可以通过母岩风化进入土壤。铬在食物链中通过植物的吸收,进入人体或动物体内而对其造成直接或间接危害。以贵州省清镇市王家寨峰丛洼地小流域为样地,对流域内不同等级、不同土壤类型、不同坡位及不同干扰方式下,石漠化的土壤Cr含量进行分析。结果表明:土壤重金属Cr含量变化范围为4.46~174.32 μg/g,均值为95.20 μg/g,有57.7%的样地超出贵州省土壤背景值。除强度石漠化外,随着石漠化程度的加深,Cr含量呈降低趋势;强度石漠化与中度石漠化的土壤Cr含量有显著差异($P < 0.05$),其他石漠化等级间差异不显著。黄壤区Cr含量平均为107.22 μg/g,其不同坡位Cr含量特征表现为下坡>中坡>上坡;黑色石灰土区Cr含量平均为81.15 μg/g,其下坡位含量最低,上坡位和中坡位含量相当。在不同干扰方式下石漠化样地中,重金属Cr含量均值变化趋势为开垦>火烧>放牧>樵采,Cr含量在不同坡位和不同干扰方式的石漠化间均无显著差异。随着土壤pH值和有机质含量的增加,重金属Cr含量有减小的趋势。

关键词:喀斯特石漠化;土壤重金属;铬;含量特征

中图分类号: X142;X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)03-0265-04

喀斯特石漠化(karst rocky desertification,简称KRD)是指在亚热带脆弱的喀斯特环境背景下,由于不合理的人为干扰,造成的土壤侵蚀、基岩外露,植被覆盖率降低,土地质量下降,地表呈现为类似荒漠化的土壤退化过程^[1-2]。在陆地生态系统中,土壤是多种生态过程的载体,也是植物生存的物质基础

收稿日期:2018-08-31

基金项目:国家重大科学研究计划(编号:2013CB956401);国际(地区)合作与交流项目(编号:4161101324);国家自然科学基金(编号:41172315);天津市水资源与水环境重点实验室开放基金。

作者简介:刘胤序(1992—),女,河北唐山人,硕士研究生,主要从事环境地球化学研究。E-mail:18786023253@163.com。

通信作者:李 军,博士,副研究员,主要从事环境地球化学研究。Tel:(022)23766028;E-mail:lijun5931@163.com。

之一,重金属对土壤的污染具有隐蔽、不可逆、难以降解的特性^[3],严重危害人类健康。铬(Cr)是一种分布较广的重金属元素,主要分布于土壤、大气、水及动植物体中^[4]。铬可以通过母岩风化进入土壤,也会通过工业废水、废渣和农业施肥等致使土壤受到不同程度的污染,引起土壤板结、作物生长受阻^[5]。铬在食物链中通过植物对土壤重金属的吸收,进入人体或动物体内而对其造成直接或间接危害。在国际抗癌研究中心和美国毒理学组织公布的致癌物中,铬及其化合物在人体内蓄积具有致癌性并且可能诱发基因突变,危害极大^[6]。本研究以贵州省清镇市王家寨峰丛洼地小流域为样地,对流域内不同等级、不同土壤类型、不同坡位及不同干扰方式下,石漠化间土壤Cr含量分布特征进行研究,以期对喀斯特地区土壤重金属铬的污染状况及防治提供理论基础和科学依据。

[8] Ho C C, Wang P H. Efficiency of a multi-soil-layering system on wastewater treatment using environment-friendly filter materials[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2015, 12(3): 3362-3380.

[9] 宋 颖, 黄玉婷, 葛 川, 等. 多介质土壤滤层系统(MSL)与潜流式人工湿地技术处理海水养殖废水的效能比较[J]. 环境科学, 2014, 35(9): 3436-3442.

[10] 罗安程, 张春娣, 杜叶红, 等. 多基质土壤混合层技术研究应用[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2011, 37(4): 460-464.

[11] 李 森. 多介质土壤层系统(MSL)处理污染河水的试验研究[D]. 马鞍山: 安徽工业大学, 2012.

[12] 宋 颖. 水产养殖污染源强及多介质土壤层技术废水处理效果与机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.

[13] 邹 俊. 生活污水的多介质土壤层处理技术研究及其应用[D]. 扬州: 扬州大学, 2011.

[14] 张春娣, 张 帅, 聂新军, 等. 多基质土壤混合层技术系统(MSL)对猪场废水的处理效果[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2012, 38(3): 336-346.

[15] 张 浩. 集约化海水养殖废水多介质土壤滤层(MSL)与人工湿地技术处理效能的对比研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.

[16] 唐登勇, 黄 越, 胥瑞晨, 等. 改性芦苇生物炭对水中低浓度磷的吸附特征[J]. 环境科学, 2016, 37(6): 2195-2201.

[17] 孙丽丽, 李文英, 李 夏, 等. 固废生物炭净化处理猪场废水研究初探[J]. 中国农学通报, 2015, 31(23): 122-126.

[18] 唐美珍, 汪文飞, 李如如, 等. 生物炭对Pseudomonas flava WD-3的固定化及其强化人工湿地污水处理研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(9): 3441-3448.

[19] 马锋锋, 赵保卫, 刁静茹, 等. 牛粪生物炭对水中氨氮的吸附特性[J]. 环境科学, 2015, 36(5): 1678-1685.

[20] 王小晓, 鲍建国, 龚路军, 等. 潜流人工湿地处理农村生活污水动力学研究[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(3): 111-115.

1 研究区概况

清镇市位于黔中高原地区,总面积 1 492.4 km²,其中山地占 33.3%,丘陵占 52.9%,山间平坝占 13.8%。清镇市的喀斯特面积为 1 220 km²,占清镇市总面积的 81.75%,其中溶蚀区为 748.2 km²,溶蚀-侵蚀区为 471.8 km²,非喀斯特面积为 272.4 km²。

研究区处于清镇市红枫湖镇王家寨浅碟状峰丛洼地小流域示范样区(图 1),流域面积 2.4 km²,喀斯特分布面积达 95%,是典型的喀斯特丘原区。该示范区海拔 1 300 m 左右,相对高差 110 m,年平均气温 14 ℃,年均降水量为 1 253 mm,主要集中在 5—10 月。研究区主要土壤类型为黑色石灰土和黄壤,坡度较大,地势陡峭的部位多发育为较年轻的黑色石灰土,而坡度较小,地形相对平坦的部位多发育为黄壤。

研究区内植被主要有鹅耳枥、园果化香、小叶鼠李、过路黄、小果蔷薇、火棘、竹叶椒、月月青、粉枝莓、莎草、卫茅、蒿、

荩草、蕨、狗尾草等,大都为灌草,属于适应性强的乡土种,少有乔木。整个流域自然植被覆盖度低,按土壤退化程度出现一定的相关性分布。总的来说,这一区域人口密度越来越大,土地可利用性小,人地矛盾突出,人们为了生存对有限的土壤、植被资源造成了极大的破坏。流域内农业活动较为粗放,广种薄收,低投入低产出,使得原本脆弱的生态系统因人为活动的强烈干扰而发生逆向演替。

2 样品采集与分析

在小流域内的不同坡度上,选择无石漠化、轻度石漠化、中度石漠化和强度石漠化等 4 种不同退化程度的样地,样地分布在不同土壤类型和不同干扰方式的背景区(图 1)。采样方法参照文献[7-8],对采样地划分小生境类型,用权重法确定每个小生境须要采集的样品量以之代表样地土壤,样品采集深度为 0~15 cm,对于土层浅薄不足 15 cm 的样点则将土壤厚度作为采样深度。

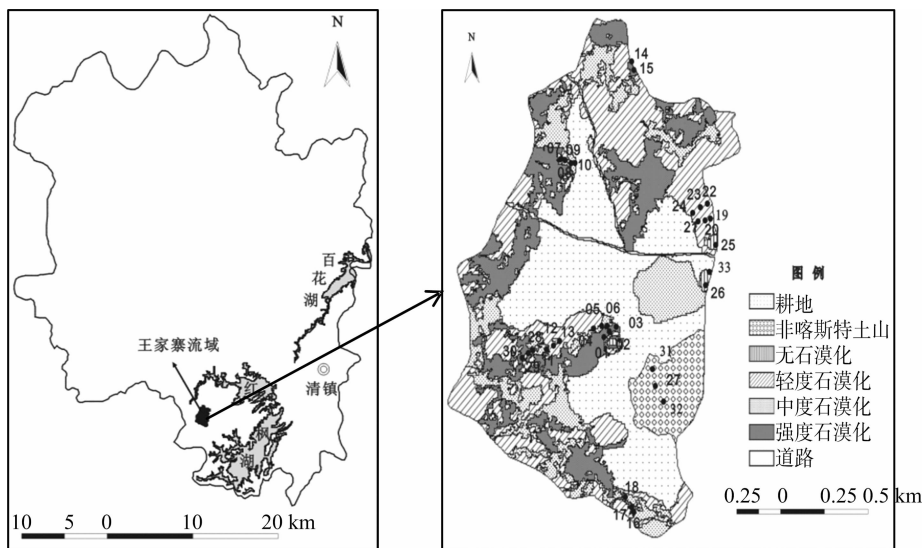


图1 研究区地理位置及样地分布

用火焰原子吸收光谱法测定 Cr 含量,用 Origin 作图,用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 20 进行数据统计分析。

3 结果与分析

3.1 不同等级石漠化间土壤 Cr 含量特征

土壤重金属 Cr 含量在不同石漠化等级间的变化范围为 4.462~174.320 μg/g,均值为 95.195 μg/g,与贵州省土壤背景值(95.9 μg/g)^[9]相比,有 57.7%的样地超出贵州省土壤背景值,其中 Cr 含量最大值出现在中等石漠化样地,超出了背景值的 81.8%。样地采样点均未超过中国国家土壤二级标准^[10]。重金属 Cr 含量平均值以强度石漠化最高,变化顺序为强度石漠化>无石漠化>轻度石漠化>中度石漠化,除强度石漠化外,随着石漠化程度的加深,重金属 Cr 含量呈降低趋势。由表 1 和图 2 可知,强度石漠化土壤中 Cr 含量的变化范围为 98.441~148.220 μg/g,均值为 127.254 μg/g,变异系数为 15.69%,为低等变异水平。Cr 含量最大值(174.320 μg/g)和最小值(4.462 μg/g)均出现在中度石漠化土壤中,变异系数为 78.84%,为高等变异水平。轻度石漠

化 Cr 含量变化范围为 33.298~125.910 μg/g,均值为 81.296 μg/g,变异系数为 45.69%,为中等变异水平。无石漠化 Cr 含量变化范围为 58.320~132.720 μg/g,均值为 93.458 μg/g,变异系数为 39.99%,为中等变异水平。Cr 含量在中度石漠化土壤中分布差异较大,这与喀斯特石漠化地区特殊的地质发育使岩石与浅薄土层镶嵌导致其具有高度的空间异质性有关^[11]。单因素分析表明,强度石漠化与中度石漠化的土壤 Cr 含量差异显著($P<0.05$),其他石漠化等级间土壤 Cr 含量无明显差异。

3.2 不同土壤类型及不同坡位 Cr 含量分布特征

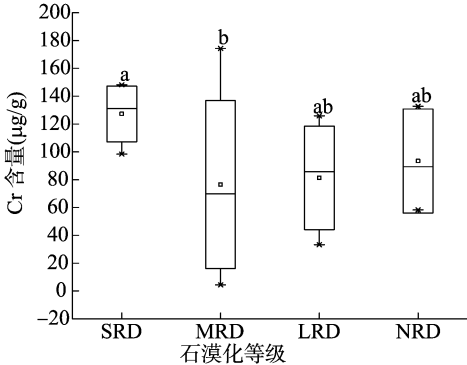
由图 3 可知,黄壤区 Cr 含量平均值为 107.22 μg/g,最小值仅为 4.46 μg/g,最大值为 151.8 μg/g,变异系数为 46.99%。黑色石灰土区 Cr 含量平均值为 81.15 μg/g,最小值为 30.46 μg/g,最大值为 131.24 μg/g,变异系数为 44.46%。黄壤区 Cr 含量明显高于黑色石灰土区。

黄壤区不同坡位 Cr 含量特征表现为下坡>中坡>上坡。其中,上坡位样地的 Cr 含量在 4.46~121.35 μg/g 之间,均值为 79.6 μg/g,变异系数为 64.69%。中坡位样地的 Cr 含

表 1 样地概况及土壤重金属 Cr 含量

等级	坡位	干扰方式	土壤类型	有机质含量 (g/kg)	pH 值	Cr 含量 (μg/g)
SRD	上	放牧	YS	90.82	6.79	121.350
SRD	上	开垦	YS	44.79	6.60	98.442
SRD	下	放牧	YS	57.36	5.86	98.441
SRD	下	开垦	YS	50.48	6.75	148.140
SRD	下	樵采	BCS	141.40	6.95	131.240
SRD	中	放牧	YS	99.06	6.75	141.040
SRD	中	开垦	YS	45.84	6.81	148.220
SRD	中	樵采	BCS	151.23	6.82	131.160
MRD	上	放牧	YS	112.61	6.49	94.156
MRD	上	火烧	BCS	281.41	7.80	57.002
MRD	上	开垦	YS	99.04	6.95	4.462
MRD	下	放牧	YS	63.70	6.31	174.320
MRD	下	火烧	BCS	261.72	7.89	30.461
MRD	下	开垦	YS	60.53	6.74	151.800
MRD	中	放牧	YS	93.13	7.07	102.430
MRD	中	火烧	BCS	196.21	7.78	69.708
MRD	中	开垦	YS	100.27	7.34	4.562
LRD	上	放牧	BCS	150.19	7.53	125.910
LRD	上	樵采	BCS	248.57	7.86	101.390
LRD	下	放牧	BCS	260.32	7.81	39.423
LRD	下	樵采	BCS	240.70	7.65	85.834
LRD	中	放牧	BCS	284.01	7.86	33.298
LRD	中	樵采	BCS	274.36	7.77	101.920
NRD	上	樵采	BCS	331.40	7.58	58.320
NRD	中	放牧	BCS	220.93	7.55	89.333
NRD	中	开垦	YS	48.36	5.00	132.720

注:SRD 表示强度石漠化;MRD 表示中度石漠化;LRD 表示轻度石漠化;NRD 表示无石漠化。YS 表示黄壤;BCS 表示黑色石灰土。



箱式图显示了误差在 5%~95% 之间的 25%、50% 及 75% 的四分位数;不同小写字母表示不同等级石漠化间 Cr 含量差异显著($P < 0.05$)

图2 不同等级石漠化间 Cr 含量

量在 4.56 ~ 148.22 μg/g 之间,均值为 105.79 μg/g,变异系数为 55.97%。下坡位样地的 Cr 含量在 98.44 ~ 174.32 μg/g 之间,均值为 143.18 μg/g,变异系数为 22.34%。黄壤区不同坡位间 Cr 含量在下坡位和中坡位分布较集中,上坡位最分散。黑色石灰土区样地不同坡位 Cr 含量均值表现为中坡与上坡相当,下坡最低。其中,上坡位样地的 Cr 含量在 57.00 ~ 125.91 μg/g 之间,均值为 85.66 μg/g,变异系数为 39.51%。中坡位样地的 Cr 含量在 33.30 ~ 131.16 μg/g 之

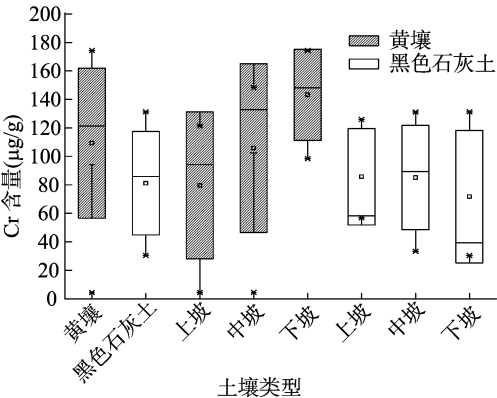


图3 不同土壤类型及不同坡位土壤重金属 Cr 含量特征

间,均值为 85.05 μg/g,变异系数为 42.95%。下坡位样地的 Cr 含量在 30.46 ~ 131.24 μg/g 之间,均值为 71.74 μg/g,变异系数为 64.82%。黑色石灰土区不同坡位间 Cr 含量在中坡位分布较集中,下坡位和上坡位较分散。

3.3 不同干扰方式下土壤 Cr 含量变化特征

由图 4 可以看出,在不同干扰方式的石漠化中,重金属 Cr 含量均值变化趋势为开垦 > 火烧 > 放牧 > 樵采。其中,受开垦干扰样地 Cr 含量在 101.92 ~ 174.32 μg/g 之间,均值为 133.34 μg/g,变异系数为 22.06%。受火烧干扰样地 Cr 含量在 125.91 ~ 131.24 μg/g 之间,均值为 129.44 μg/g,变异系数为 2.36%。受放牧干扰样地 Cr 含量在 33.30 ~ 148.14 μg/g 之间,均值为 92.62 μg/g,变异系数为 46.28%。受樵采干扰样地 Cr 含量在 30.46 ~ 101.39 μg/g 之间,均值为 74.03 μg/g,变异系数为 36.49% (图 4)。Cr 含量最大值出现在受开垦干扰的石漠化样地中,最小值出现在受樵采干扰的石漠化样地中。

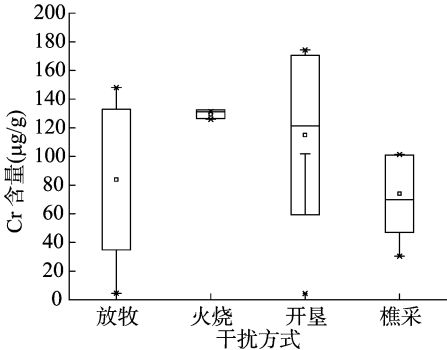


图4 不同干扰方式下土壤重金属 Cr 含量特征

3.4 土壤 pH 值、有机质含量与重金属 Cr 含量的关系

土壤酸碱度可以综合反映土壤化学性质,对土壤生物活性、营养元素的迁移转化及重金属元素的有效性有着重要影响^[12]。本研究的 26 个采样点中,pH 值 < 5.0 的强酸性土壤样品有 1 个,占总样点的 3.9%;pH 值为 5.0 ~ 6.5 的酸性土壤样点有 3 个,占 11.54%;pH 值为 6.5 ~ 7.5 的中性样点和 pH 值为 7.5 ~ 8.5 的碱性土壤样点各有 11 个,各占总样品数 42.31%,无强碱性样品土壤。pH 值与重金属 Cr 含量呈极显著负相关(表 2),当 pH 值在 5.5 ~ 6.0 之间时,Cr 含量达到最大值。

有机质含量与重金属 Cr 含量有极显著负相关关系(表 2),随着有机质含量的增加,本研究区域的重金属 Cr 含量有减小的趋势。土壤有机质本身并不含重金属,但却可以影响重金属的迁移和转化。一般来说,土壤有机质会与重金属发生络合和螯合作用,降低重金属离子的活性,所以往往在有机质含量较高的表层土壤中会积累更多重金属^[13];但是频繁的农田耕作、作物输出会影响土壤团聚体结构,降低土壤抵御侵蚀和淋溶的能力,因此重金属含量会随有机质的流失而降低。

表 2 土壤 pH 值、有机质与重金属 Cr 含量的相关性分析

指标	相关系数		
	pH 值	有机质含量	Cr 含量
pH 值	1.000	0.807 **	-0.526 **
有机质含量	0.807 **	1.000	-0.528 **
Cr 含量	-0.526 **	-0.528 **	1.000

注: *、** 表示相关性在 0.05、0.01 水平上显著(双尾)。

4 结论与讨论

研究区内在不同等级石漠化间重金属 Cr 含量均值变化由大到小为强度石漠化>无石漠化>轻度石漠化>中度石漠化,除强度石漠化外,随着石漠化程度的加重,重金属含量呈降低趋势。强度石漠化 Cr 金属含量较高,强度石漠化样地土壤主要以稀疏灌草丛为主,不同的母质和成土过程会影响土壤 Cr 的含量,同时本研究区内的强度石漠化样地主要是受开垦影响而退化,所以不合理的农耕作业和农药化肥的使用,也会使重金属加速积累。黄壤铬含量明显高于黑色石灰土,黄壤区不同坡位 Cr 含量特征表现为下坡>中坡>上坡;黑色石灰土区不同坡位 Cr 含量均值表现为中坡与上坡相当,下坡最低。不同土壤类型重金属含量差别较大,这可能与采样区地形有关。黑色石灰土样区多为坡地且坡度较大,降雨等淋溶作用会使金属铬随土壤养分一起流失,同时黄壤区地形较平坦,多为耕地且大都为团块状质地,重金属 Cr 迁移能力较弱,易被土壤吸附累积。黄壤区坡位较缓且植被覆盖差异不大,高坡位易水土流失^[14-15],土壤重金属 Cr 会随土壤养分径流到下坡位而积累,所以下坡位 Cr 含量较高。黑色石灰土区上、中坡位 Cr 含量较高,可能是因为该区坡度陡峭地貌复杂,上坡位植被覆盖较好,水土流失作用弱,中坡为凹坡^[16],径流作用弱,使重金属 Cr 更容易淤积。在不同干扰方式的石漠化中,重金属 Cr 含量均值变化趋势为开垦>火烧>放牧>樵采,Cr 含量最大值出现在受开垦干扰的石漠化样地中,最小值出现在受樵采干扰的石漠化样地中。与放牧和樵采的干扰相比,开垦和火烧干扰下的土壤质地黏重、易板结,使 Cr 更容易滞留在土壤中;同时,较高的 Cr 含量也可能与农民对开垦地施用磷肥和草木灰有关^[17-18]。不同 pH 值范围内的重金属含量不同,随土壤 pH 值的升高,Cr 含量有减小的趋势。随着有机质含量的增加,Cr 含量也在减少,在探究有机质含量对重金属有效性的影响时还要考虑重金属形态的转变。土壤有机质对重金属累积的效应较为复杂,与土壤母质、土壤类型、土地利用方式以及重金属性质等因素有关^[19-21],其原因还须进一步探究。

参考文献:

[1] 罗绪强,王世杰,刘秀明,等. 喀斯特石漠化过程中土壤重金属铬

的地球化学特征[J]. 生态环境学报,2009,18(1):160-166.
[2] 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.
[3] 秦 松,王正银,刘明竞. 喀斯特边远农区正安县植烟土壤重金属含量及其特征[J]. 水土保持学报,2007,21(1):72-75,98.
[4] 梁奇峰. 铬与人体健康[J]. 广东微量元素科学,2006,13(2):67-69.
[5] 朱建雯,王 灵,钱 翌,等. 乌鲁木齐市菜地土壤和蔬菜铬含量特征及其健康风险评价[C]//中国环境科学学会. 第二届重金属污染监测风险评价及修复技术高级研讨会. 北京:中国环境科学学会,2008.
[6] 周 凯,王智芳,马玲玲,等. 新乡市郊区大棚菜地土壤重金属 Pb、Cd、Cr 和 Hg 污染评价[J]. 生态环境学报,2013,22(12):1962-1968.
[7] 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样采集方法[J]. 土壤学报,2007,44(3):475-483.
[8] 罗绪强,王世杰,王程媛,等. 喀斯特石漠化过程中土壤氮同位素组成及其空间分异特征[J]. 核农学报,2011,25(6):1235-1243.
[9] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990.
[10] 夏家洪. 土壤环境质量标准详解[M]. 北京:中国环境科学出版社,1996.
[11] 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.
[12] 王孝堂. 土壤酸度对重金属形态分配的影响[J]. 土壤学报,1991,28(1):103-107.
[13] 陈 浩,吉力力·阿不都外力,刘 文,等. 博尔塔拉河沿岸土壤重金属含量特征与有机质、pH 值的关系[J]. 水土保持研究,2016,23(5):210-213.
[14] Chen H S,Liu J W,Zhang W,et al. Soil hydraulic properties on the steep karst hillslopes in northwest Guangxi, China [J]. Environmental Earth Sciences,2012,66(1):371-379.
[15] Jiang Y J,Li L L,Groves C,et al. Relationships between rocky desertification and spatial pattern of land use in typical karst area, southwest China [J]. Environmental Earth Sciences, 2009(59):881.
[16] 杜雪莲,王世杰,葛永罡,等. 喀斯特石漠化过程的植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化及其环境分析[J]. 自然科学进展,2008,18(4):413-423.
[17] Li Y D,Xie J,Luo G P,et al. The evolution of a karst rocky desertification land ecosystem and Its driving forces in the Houzhaihe area,China[J]. Open Journal of Ecology,2015,5:501-512.
[18] Peng X D,Dai Q H,Yang Z,et al. Sediment yield of surface and underground erosion in the process of rocky desertification of karst area[J]. Acta Pedologica Sinica,2016(5):1238-1245.
[19] 曹会聪,王金达,张学林. 东北地区污染黑土中重金属与有机质的关联作用[J]. 环境科学研究,2007,20(1):36-41.
[20] 孙 花,谭长银,黄道友,等. 土壤有机质对土壤重金属积累、有效性及形态的影响[J]. 湖南师范大学自然科学学报,2011,34(4):82-87.
[21] 陈子扬,孙孝龙. 土壤有机质与重金属关系的研究进展[J]. 环境与发展,2017,29(8):141-142.