第 35 卷 第 1 期	中国岩溶	Vol. 35 No. 1
2016 年 2 月	CARSOLOGICA SIN	VICA Feb. 2016

殷建军,王 华,罗为群,等. 广西平果龙何屯岩溶洼地剖面土壤<sup>137</sup> Cs 和<sup>210</sup> Pb 比活度分布的影响因素研究[J]. 中国岩溶,2016,35 (1):5-10.

DOI:10.11932/karst20160102

# 广西平果龙何屯岩溶洼地剖面土壤<sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup>Pb 比活度分布的影响因素研究

#### 殷建军,王华,罗为群,唐伟

(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/国土资源部岩溶生态系统 与石漠化治理重点实验室/联合国教科文组织国际岩溶研究中心,广西 桂林 541004)

摘 要:<sup>137</sup>Cs和<sup>210</sup>Pb技术广泛应用于土壤侵蚀研究,但由于岩溶区的特殊性,如地表地下双层结构的存在, 土壤形成慢,土层薄且不连续,易被侵蚀等特点,一定程度上限制了<sup>137</sup>Cs和<sup>210</sup>Pb技术在岩溶区的应用。文章 选取广西平果果化石漠化综合治理示范区龙何屯洼地剖面,沿剖面采集土壤样品,进行<sup>137</sup>Cs和<sup>210</sup>Pb放射性 比活度研究,得到以下认识:(1)土壤表层及整个土壤剖面<sup>137</sup>Cs和<sup>210</sup>Pb放射性比活度正相关,主要是人类活 动及土壤迁移引起的土壤再分配导致的;(2)石穴地的<sup>137</sup>Cs和<sup>210</sup>Pb放射性比活度均为最大,除受到邻近裸岩 影响还与石穴地良好的集水集土条件有关;(3)洼地底部及沟底<sup>137</sup>Cs和<sup>210</sup>Pb放射性比活度相对偏小,主要是 坡面长期受到地表径流侵蚀影响,土壤和泥沙在此沉积导致的;(4)退耕还林之后土壤得到很好的保护,并能 拦截一定量上游带来的土壤,但由于岩溶环境的特殊性,地下漏失无法避免。 关键词:岩溶区;水土流失;<sup>137</sup>Cs放射性比活度;<sup>210</sup>Pb放射性比活度

中图分类号:X142 文献标识码:A 文章编号:1001-4810(2016)01-0005-06

# 0 引 言

<sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup> Pb 技术广泛应用于土壤侵蚀研 究<sup>[1-2]</sup>。特别是应用于不同地貌和土壤类型(如黄土 高原<sup>[3]</sup>、川中丘陵<sup>[4]</sup>、青藏高原区<sup>[5]</sup>、西南岩溶 区<sup>[6-8]</sup>)均有报道。岩溶地区由于碳酸盐可溶物比例 高,不溶物含量低,土层一般很薄且部分零星,且土壤 风化成土速率慢,土壤侵蚀速率快,一旦流失很难恢 复<sup>[9-11]</sup>。新生代大幅度地壳抬升和岩溶作用造成岩 溶地区地表、地下双层结构,形成"土在楼上,水在楼 下"的国土资源格局<sup>[12]</sup>。地表水、地下水的快速转 化,较大地下空间及地下水文网的存在,使得岩溶区 水土流失主要表现为向下漏失<sup>[9,11]</sup>。因此,在岩溶区 应用<sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup>Pb 技术估算土壤侵蚀和沉积速率需 谨慎。已有的研究指出,岩溶区由于裸岩的存在,土 壤不连续,<sup>137</sup> Cs 空间分布差异很大<sup>[13-14]</sup>,重度石漠 化阶段,土壤由侵蚀转为沉积状态<sup>[15]</sup>,用于估算均质 土壤地区土壤侵蚀速率的<sup>137</sup> Cs 法并不适合基岩型岩 溶坡地<sup>[16]</sup>。目前另一种用于估算土壤侵蚀的元素<sup>210</sup> Pb<sup>[17]</sup>在岩溶区应用还相对较少。本研究在岩溶洼地 综合应用<sup>137</sup> Cs 和<sup>210</sup> Pb 两元素,通过分析两元素的空 间分布和土壤剖面分布特征及影响因素,为岩溶区土 壤侵蚀研究提供参考。

#### 1 研究区概况

研究区位于广西壮族自治区平果县果化镇龙何 屯(23°22'30"~23°24'32"N,107°22'30"~107°24'47"

基金项目:"十二五"国家科技支撑计划课题(编号:2011BAC09B02);中国地质科学院基本科研业务费项目(编号:YWF201414);岩溶所基本科研 业务费项目(编号:2014025, 200707, 200718);中国地质调查局地调项目(编号:12120113006700)

第一作者简介:殷建军(1985-),男,助理研究员,主要从事全球变化与岩溶环境研究。E-mail: david1985\_2005@163.com。 收稿日期:2015-06-07

E),为典型的岩溶峰丛洼地地貌。地层主要为石炭 系上统石灰岩。为岩溶强烈发育地区<sup>[8]</sup>。中国地质 科学院岩溶地质研究所、广西植物研究所、广西壮族 自治区水土保持监测总站在此联合建立了平果石漠 化综合治理示范区和岩溶生态研究基地<sup>[18]</sup>。该示范 区在 2001 年治理前,为重度石漠化地区。植被覆盖 率不足 10%,森林覆盖率不足 1%,岩石裸露率> 50%以上的面积占总面积的一半以上<sup>[19]</sup>,石漠化治 理后植被覆盖率提高到 50%以上,土壤侵蚀模数下 降了 30%,土壤蓄水率提高了 10%~15%<sup>[19]</sup>。

# 2 材料和方法

#### 2.1 <sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup>Pb 方法原理

<sup>137</sup>Cs为人工放射性同位素,主要为人类核活动 (如核爆、核电站)产生,因此在全球核爆的最高峰 1963年,全球的<sup>137</sup>Cs放射性活度最大,而如1986年 乌克兰切尔诺贝利核电站事故也能检测出<sup>137</sup>Cs的峰 值<sup>[20]</sup>。<sup>137</sup>Cs的半衰期为30.05年<sup>[21]</sup>。土壤中<sup>210</sup>Pb 有两个来源:大气沉降和土壤氡气衰变产生。<sup>210</sup>Pb的 半衰期为22.23年<sup>[21]</sup>。<sup>137</sup>Cs和<sup>210</sup>Pb的大气沉降均受 到当地大气降水的影响<sup>[1,22-24]</sup>,表现为纬度地带性, 湿沉降>干沉降,即某一地点自然状态下土壤剖 面,<sup>137</sup>Cs的放射性活度峰值分布在土壤表层以下的 某一层;而<sup>210</sup>Pb从表层向下呈指数衰减。因此,可 以通过测量土壤剖面中的<sup>137</sup>Cs和<sup>210</sup>Pb放射性比 活度和计算面积比活度来估算土壤侵蚀模数及侵蚀 速率。

# 2.2 样品采集

研究区选择在果化石漠化综合治理示范区的核 心区域龙何屯。剖面位置位于龙何屯西北的龙何上 洼地和龙烈洼地,取样点编号顺序从龙何上西南峰顶 往下至龙烈西沟洼地底部(图1)。采样按表层、2~  $10 \text{ cm}, 10 \sim 20 \text{ cm}, 20 \sim 30 \text{ cm}, 30 \sim 40 \text{ cm}, 40 \sim 50$ cm、50~60 cm 采集,深度不足处采集到基岩面为 止。S11为龙何上西南峰山腰退耕还林 20~30 年左 右的林下土壤,土壤厚度 25 cm,2~10 cm 为黑褐色 石灰土,10~25 cm 为黄棕色石灰土。S10-S8 为龙 何上西南峰山坡灌草地石缝土壤,土壤厚度 20 cm, 为黑褐色石灰土。S7 为龙何上南坡沟上段石穴玉米 地土壤,土壤厚度 20 cm,为黑褐色石灰土。S6 为龙 何上南坡沟中段梯地玉米地土壤,厚度 40 cm,为黑 褐色石灰土。S5 为龙何上南坡沟下段梯地玉米地土 壤,厚度 40 cm,为黑褐色(上)和黄色(下)石灰土。 S4 为龙何上洼地底部玉米地土壤,厚度 55 cm,为黑 褐色石灰土。S3 为龙何下南坡上坡梯地玉米地土 壤,厚度 50 cm,为黑褐色石灰土。S2 为龙何下南坡 中坡梯地玉米地土壤,厚度 40 cm,为黑褐色石灰土。 S1 为龙何下南坡坡脚梯地玉米地土壤,厚度 50 cm, 为黑褐色石灰土。S0为龙何下沟底玉米地土壤,厚 度 50 cm,为黑褐色石灰土。S-1 同样为龙何下沟 底玉米地土壤,厚度 20 cm,为黑褐色(上)和黄色 (下)石灰土。S-2为龙烈西沟顶梯地玉米地土壤, 厚度 30 cm,为黑褐色石灰土。S-3 为龙烈西沟中 上段梯地玉米地土壤,厚度 25 cm,为黑褐色石灰土。 S-4 为龙烈西沟中段梯地玉米地土壤,厚度 58 cm, 为黑褐色石灰土。S-5为龙烈西沟中下段退耕还林 5年的苏木林地土壤,厚度40 cm,为黑褐色(上)和黄 色(下)石灰土。S-6为龙烈西沟下段坡脚梯地玉米 地土壤,厚度 60 cm,为黑褐色(上)和黄色(下)石灰 土。S-7为龙烈洼地底部玉米地土壤,厚度 60 cm, 为黑褐色(上)和黄色(下)石灰土。



#### 图 1 广西平果果化龙何屯洼地剖面及采样位置图

Fig. 1 The depression transect and sampling sites of Longhetun, Pingguo, Guangxi

#### 2.3 样品分析测试

<sup>137</sup>Cs 样品测试在中国科学院/水利部成都山地 灾害与环境研究所完成。样品经风干、研磨、过筛(2 mm)和称重后,封闭于样品盒中 20 天后进行测试。 测试仪器为美国 EG & G Ortec 公司生产的 N 型高纯 锗γ能谱仪,样品测重≥250 g,测试时间≥50 000 s,测 试误差为±5%(95%可信度)。

<sup>210</sup> Pb 样品测试在中国地质科学院岩溶地质研究 所岩溶地质与资源环境测试中心进行。测试仪器为 美国 EG & G Ortec 公司生产的 920-8 alpha 能谱 仪,仪器分辨率 FW=19 kev,仪器效率为 21%,测试 误差<5%,测试方法参见王华等,2008<sup>[25]</sup>。

#### 3 结果分析

### 3.1 <sup>137</sup>Cs 洼地剖面分布特征

<sup>137</sup>Cs 放射性比活度在洼地剖面的分布基本表现 为随高程的降低,<sup>137</sup>Cs 放射性比活度减小的趋势,但 表现出较大的波动性(图 2)。<sup>137</sup>Cs 放射性比活度最大 值出现在石穴土壤(采样点 S7),洼地底部和沟底 <sup>137</sup>Cs放射性比活度相对较低(如采样点 S4、S0、S-1、 S-7)。



#### 图 2 <sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup>Pb 在洼地剖面及土壤剖面中的分布特征

(星号表示土壤表层;不同的拟合线为不同层面,土壤表层,2~10 cm,10~20 cm,30~40 cm 多项式拟合曲线) Fig. 2 The distribution characteristics of <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb in depression profile and soil profile (the stars stand for the surface soil; different fitting lines using polynomial method are used in different depths, topsoil is surface, 2 to 10cm, 10 to 20 cm, 30 to 40 cm )

# 3.2 <sup>137</sup>Cs 土壤剖面分布特征

<sup>137</sup>Cs放射性比活度在土壤剖面的分布表现出较 大的差异性。一般<sup>137</sup>Cs放射性比活度在土壤表层值 最大,但部分最大值出现在 2~10 cm 的次表层(如采 样点 S2、S0、S-1、S-3、S-4、S-5)。而且部分剖 面<sup>137</sup>Cs放射性比活度出现下面层位值大于上面层位 值(如采样点 S7、S6、S-5)。土壤表层<sup>137</sup>Cs放射性 比活度平均值为 9.96 Bq/kg。最大值出现在采样点 S7,为 26.9 Bq/kg,最小值 4.99 Bq/kg,出现在采样 点 S4。<sup>137</sup>Cs放射性比活度在土壤剖面表层和 2~10 cm数值接近,但在 10~20 cm <sup>137</sup>Cs放射性比活度就 出现较大分异,表现为<sup>137</sup>Cs放射性比活度值的快速 减小(图 2)。除采样点 S6 外,在 20 cm 以下<sup>137</sup>Cs放 射性比活度低于检测限。

#### 3.3 <sup>210</sup> Pb 洼地剖面分布特征

<sup>210</sup> Pb 放射性比活度在洼地剖面的分布特征同样 表现为随高程的降低,<sup>210</sup> Pb 放射性比活度减小的趋势,并出现较大的波动(图 2)。<sup>210</sup> Pb 放射性比活度最 大值出现在石穴土壤(采样点 S7),最小值出现在沟底(采样点 S-1)。洼地底部和沟底部位<sup>210</sup> Pb 放射性比活度相对均偏低(如采样点 S4、S-7、S0)。

# 3.4 <sup>210</sup> Pb 土壤剖面分布特征

<sup>210</sup> Pb 放射性比活度在土壤剖面的分布表现为: 表层最高,向下<sup>210</sup> Pb 放射性比活度逐渐减小(图 2)。 表层<sup>210</sup> Pb 放射性比活度平均值为 234.25 Bq/kg,最 大值出现在采样点 S7,值为 750.70 Bq/kg,最小值出 现在采样点 S-1,为 83.40 Bq/kg。<sup>210</sup> Pb 在整个土壤 剖面的分布并未表现出较大分异,基本表现为指数衰 减的特征。在 20~30 cm 处<sup>210</sup> Pb 放射性比活度基本 稳定,达到放射性平衡。

# 4 讨 论

# 4.1 <sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup>Pb 相关性分析

<sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup>Pb 在洼地剖面和土壤剖面的分布特征表现出较大的相似性。通过相关分析,发现在土壤

表层及整个土壤剖面<sup>137</sup> Cs 和<sup>210</sup> Pb 均表现出很好的 相关性(图 3)。前面原理介绍可知,<sup>137</sup> Cs 为人工放射 性同位素,1986 年以后几乎很难检测到大气沉降<sup>[26]</sup>。 因此自然状态下土壤中<sup>137</sup> Cs 值变化基本表现为单峰 值,其他层位基本为本底值。而<sup>210</sup> Pb 能够持续得到 大气沉降的补给,自土壤表层向下表现为指数衰减特 征。由此可以得出在<sup>137</sup> Cs 与<sup>210</sup> Pb 在土壤剖面并不 存在相关性。而人类的耕作活动和土壤的迁移(不同 位置、不同层位土壤运移)则可以使<sup>137</sup>Cs 在土壤剖面 进行重分配。<sup>137</sup>Cs 与<sup>210</sup>Pb 的正相关表明洼地土壤非 自然状态下土壤,这与当地在石漠化治理之前为重度 石漠化地区的情况相符。考虑到<sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup>Pb 与土 壤理化性质的关系,<sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup>Pb 与土壤有机质(碳) 含量、粘粒含量正相关<sup>[27-32]</sup>,土壤中有机质(碳)含量 和土壤粘粒含量的分布可以在一定程度上导致<sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup>Pb 的正相关。



图 3 土壤表层(左)和整个土壤剖面(右)<sup>137</sup>Cs与<sup>210</sup>Pb的相关关系

Fig. 3 The relationships between <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb (the left is only surface soil, the right all samples in the whole soil profiles)

# 4.2 地形地貌对水土流失的影响

<sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup>Pb 放射性比活度在洼地剖面上的分 布表现出相似性。即最大值均出现在石穴土壤(采样 点 S7),洼地底部和沟底的值均相对较小。说明地形 地貌制约着在<sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup>Pb 放射性比活度的空间分 布。

已有研究指出,岩溶区裸岩对邻近土体<sup>137</sup> Cs 放 射性比活度贡献<sup>[14]</sup>,指出裸岩收集的<sup>137</sup> Cs 尘埃在雨 水的携带下直接补给邻近土体,使得邻近土体<sup>137</sup> Cs 相对富集。但本研究区采样点 S10-S8 同样为石缝 土壤,但<sup>137</sup> Cs 放射性比活度却只有采样点 S7 的 40% 左右,<sup>210</sup> Pb 放射性比活度只有采样点 S7 的 30%左 右,说明裸岩的存在并不是<sup>137</sup> Cs 和<sup>210</sup> Pb 放射性比活 度高的唯一影响因素,因为裸岩面积大,径流流失的 比例也相对较高<sup>[13]</sup>。石穴地周边分布的裸岩无土壤 覆盖,雨水和流失土壤携带的<sup>137</sup> Cs 和<sup>210</sup> Pb 汇入石穴 地,由于石穴地相对封闭,且为负地形,集水集土条件 更好,因此石穴地土壤中<sup>137</sup> Cs 和<sup>210</sup> Pb 相对更高。通 过<sup>137</sup> Cs 和<sup>210</sup> Pb 在石穴地的分布特征,也可以确定石 穴地更加适合在石漠化条件下保存土壤。因此石穴 地对于岩溶农业种植区水土保持有很好的借鉴意义。

洼地底部和沟底的<sup>137</sup> Cs 和<sup>210</sup> Pb 放射性比活度

相对较小,且在土壤剖面 10~20 cm 层位<sup>210</sup> Pb 放射 性比活度基本恒定(<sup>210</sup> Pb 为 30.0 Bq/kg),<sup>137</sup> Cs 低于 仪器检测限(图 2)。目前洼地底部和沟底均为农业 用地,种植有玉米,因此土壤剖面有上下层位的混合。 但是表层和次表层(2~10 cm)<sup>137</sup> Cs 和<sup>210</sup> Pb 放射性 比活度的偏低,且随着深度增加,<sup>137</sup> Cs 和<sup>210</sup> Pb 放射 性比活度逐渐降低。说明土壤剖面有沉积发生。坡 地上土壤被流水携带在此沉积,随着时间的推移,侵 蚀土壤<sup>137</sup> Cs 和<sup>210</sup> Pb 放射性比活度逐渐降低,堆积在 洼地底部的土壤<sup>137</sup> Cs 和<sup>210</sup> Pb 放射性比活度也随着 降低。因此岩溶洼地的水土保持关键是防治地表径 流的侵蚀。

# 4.3 退耕还林对137 Cs 和210 Pb 分布的影响

本研究有两个采样点位于退耕还林地,分别是采 样点 S11和 S-5。但是两个退耕还林点却表现出较 大的差异:如<sup>210</sup> Pb 放射性比活度均随深度增加呈现 指数衰减,采样点 S11的<sup>137</sup> Cs 放射性比活度自表面 向下呈指数递减变化。而采样点 S-5的<sup>137</sup> Cs 放射 性比活度则出现最大值出现在次表层(2~10 cm)、 下面层位值高于上面层位值。这种差异受到地形和 退耕还林的双重影响。采样点 S11以上部位同样为 退耕还林区,且有 20~30年的时间,植被已很大程度 恢复,因此随地表径流流失的土壤大大减少,<sup>137</sup>Cs放射性比活度仍保持退耕还林前的分布状态,且随着时间的推移,<sup>137</sup>Cs逐渐衰变减少,<sup>137</sup>Cs放射性比活度呈现指数递减变化。采样点S-5为退耕还林5年的苏木林,且坡面以上仍为农业用地,因此存在由地表径流携带的<sup>137</sup>Cs的补给,表现为次表层(2~10 cm) 值最大。而由于之前农业活动的影响以及土壤的向下运移,<sup>137</sup>Cs放射性比活度值出现在土壤剖面下面 层位大于上面层位的现象。这种现象同样表现在农 业用地采样点S7和S6。说明退耕还林可以减少地 表径流对土壤的侵蚀,但由于岩溶区的特殊性,地下 漏失却不能避免。

### 5 结论和建议

通过对广西平果县果化石漠化综合治理示范区 龙何屯洼地剖面<sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup>Pb 放射性比活度的研究, 得到以下认识:

(1)<sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup> Pb 放射性比活度不仅在土壤表层,在整个土壤剖面均表现为很好的正相关,是土壤再分配最直接的证据,可以用来指示人类活动/水土流失。

(2) 岩溶区裸岩的存在并不是邻近土壤<sup>137</sup> Cs 和<sup>210</sup> Pb 放射性比活度偏高的唯一条件,还需要良好 的集水集土条件才能保证<sup>137</sup> Cs 和<sup>210</sup> Pb 放射性比活 度高于其他地区。

(3)岩溶洼地和沟底<sup>137</sup>Cs和<sup>210</sup>Pb放射性比活度 在岩溶洼地相对偏小,主要是岩溶洼地和沟底长期接 受坡地径流携带的土壤和泥沙沉积。因此在岩溶洼 地和沟底的水土保持关键是防治地表径流的侵蚀。

(4)退耕还林可以减少土壤受到地表径流的侵 蚀,可以一定程度上拦截上游来的泥沙,但是由于岩 溶环境的特殊性,向下漏失不可避免。

**致 谢:**感谢审稿专家和编辑部老师提出的宝贵修改 意见以及中国地质科学院岩溶地质研究所袁道先院 士和宋爱玲女士对本人工作的支持。

#### 参考文献

- Parsons A J, Foster I D L. What can we learn about soil erosion from the use of <sup>137</sup>Cs? [J]. Earth-Science Reviews, 2011, 108: 101-113.
- [2] Matisoff G. <sup>210</sup> Pb as a tracer of soil erosion, sediment source area identification and particle transport in the terrestrial environment[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2014, 138, 343

-354.

- [3] 张信宝,温仲明,冯明义,等.应用<sup>137</sup>Cs示踪技术破译黄土丘陵 区小流域坝库沉积赋存的产沙记录[J].中国科学(D辑),2007, 37(3):405-410.
- [4] 张信宝,贺秀斌,文安邦,等. 川中丘陵区小流域泥沙来源的<sup>137</sup>Cs
  和<sup>210</sup>Pb 双同位素法研究[J]. 科学通报,2004,49(15):1537-1541.
- [5] 李俊杰,李勇,王仰麟,等.三江源区东西样带土壤侵蚀的<sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup>Pb示踪研究[J].环境科学研究,2009,22(12):1452-1459.
- [6] 张信宝,白晓永,刘秀明.洼地沉积的<sup>137</sup>Cs法断代测定森林砍伐 后的喀斯特小流域土壤流失量[J].中国科学(D辑),2011,41 (2):265-271.
- [7] Li H, Zhang X, Wang K, et al. Assessment of sediment deposition rates in a karst depression of a small catchment in Huanjiang, Guangxi, southwest China, using the cesium - 137 technique [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 65(4): 223-232.
- [8] 罗为群,张辉旭,蒋忠诚,等.岩溶峰丛洼地不同环境水土流失差 异及防治研究:以广西果化岩溶生态研究基地为例[J].地球学报,2014,35(4):473-480.
- [9] 袁道先,蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆:重庆出版社,1988,25-27.
- [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] 曹建华,袁道先,章程,等.受地质条件制约的中国西南岩溶生 态系统[J].地球与环境,2004,32(1);1-8.
- [12] 袁道先. 岩溶地区的地质环境和水文生态问题[J]. 南方国土资 源,2003,20(1):22-25.
- [13] 李豪,张信宝,王克林,等.桂西北倒石堆型岩溶坡地土壤的<sup>137</sup>
  Cs分布特点[J].水土保持学报,2009,23(3):42-47.
- [14] 张笑楠,王克林,张伟,等.典型喀斯特坡地<sup>137</sup> Cs的分布与相关 影响因子研究[J].环境科学,2009,30(11):3152-3158.
- [15] 张素红,李森,严平,等.粤北石漠化地区<sup>137</sup>Cs分布特征及背景 值研究[J].水土保持研究,2007,14(6):361-364.
- [16] 严冬春,文安邦,鲍玉海,等.黔中高原岩溶丘陵坡地土壤中的<sup>137</sup>Cs分布[J].地球与环境,2008,36(4):342-347.
- [17] Mabit L, Benmansour M, Abril J M, et al. Fallout <sup>210</sup>Pb as a soil and sediment tracer in catchment sediment budget investigations: A review [J]. Earth-Science Reviews, 2014, 138, 335 -351.
- [18] 蒋忠诚,罗为群,邓艳,等. 岩溶峰丛洼地水土漏失及防治研究 [J]. 地球学报,2014,35(5):535-542.
- [19] 蒋忠诚,李先琨,覃小群,等.论岩溶峰丛洼地石漠化的综合治 理技术[J].中国岩溶,2008,27(1):50-55.
- [20] Foster I D L, Dalgleish H, Dearing J A, et al. Quantifying soil erosion and sediment transport in drainage basin: some observations on the use of <sup>137</sup>Cs [C]. Variability in Stream Erosion and Sediment Transport(Proceedings of the Canberra Symposium, December 1994). IAHS Publ. no. 224, 1994.
- [21] Laboratoire National Henri Becquerel. Table of Radionuclides recommended data [EB/OL]. http://www. nucleide. org/

DDEP\_WG/DDEPdata.htm.

- [22] Clark M J, Smith F B. Wet and dry deposition of Chernobyl releases [J]. Nature, 1988, 332, 245-249.
- [23] Hirose K, Kikawada Y, Doi T, et al. <sup>210</sup> Pb deposition in the far East Asia: controlling factors of its spatial and temporal variations [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2011, 102: 514-519.
- [24] Preiss N, Mélières M A, Pourchet M. A compilation of data on lead 210 concentration in surface air and fluxes at the air—surface and water—sediment interfaces [J]. Journal of Geophysical Research, 1996, 101, D22, 28847—28862.
- [25] 王华,李强,覃嘉铭,等.<sup>210</sup> Pb 测年方法在岩溶碳酸盐沉积物中的应用研究[J]. 地球学报,2008,29(6):719-724.
- [26] Bourcier L, Masson O, Laj P, et al. <sup>7</sup>Be, <sup>210</sup> Pb and <sup>137</sup>Cs concentrations in cloud water [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2014, 128, 15-19.
- [27] Ritchie J C, McCarty G W, Venteris E R, et al. Soil and soil or-

ganic carbon redistribution on the landscape [J]. Geomorphology, 2007, 89:163-171.

- [28] 冯腾,陈洪松,张伟,等. 桂西北喀斯特坡地土壤<sup>137</sup> Cs 的剖面分 布特征及其指导意义[J]. 应用生态学报,2011,22(3):593-599.
- [29] 魏兴萍,袁道先,谢世友.运用<sup>137</sup>Cs与土壤营养元素探讨重庆 岩溶槽谷区山坡土壤的流失和漏失[J].水土保持学报,2010, 24(6):16-23.
- [30] Dörr H. Application of <sup>210</sup> Pb in soils [J]. Journal of Paleolimnology, 1995, 13:157-168.
- [31] He Q. Walling D E. Interpreting particle size effects in the adsorption of <sup>137</sup>Cs and unsupported <sup>210</sup>Pb by mineral soils and sediments [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 1996, 30(2):117-137.
- [32] Dörr H, Münnich K O. Downward movement of soil organic matter and its influence on trace-element transport(<sup>210</sup> Pb,<sup>137</sup> Cs) in the soil [J]. Radiocarbon,1989,31(3):655-663.

# A study on the influencing factors for distribution of <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb specific radioactivity in Longhetun karst depression area in Pingguo, Guangxi

YIN Jian-jun, WANG Hua, LUO Wei-qun, TANG Wei

(Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MLR & GZAR/Key Laboratory of Karst Ecological System and Treatment of Rocky Desertification, MLR / The International Research Center on Karst under the Auspices of UNESCO, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb radiometric techniques have been widely used in soil erosion research. However, due to the special characteristics of karst area, such as dual-layered structure of surface and subsurface, slowness of soil formation, thin and discontinuous layer and the erodibility of the soil and so on, the applications of <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb radiometric techniques to the karst area are limited. In this study, the Longhetun depression profiles in Guohua karst ecological experimental site, Pingguo, Guangxi was chosen as an example. Soil samples along the selected profiles were collect and the specific radioactivities of <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb were analysed. The results showed that, (1) positive correlation of <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb was found both on the surface and at depths along soil profiles; this phenomenon was largely caused by human activity and soil migration, which also caused the migration of soil composition at depth. (2) Because of the enrichment of <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb in the adjacent bare rock, the maximum values of <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb specific radioactivity were found in rock cavities which are good spaces for water accumulation. (3) The <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb specific radioactivities were relative low at the bottoms of karst depression and karst valley, for perennial runoff causes the soil erosion to happen mainly on the slope and the soil deposition happen at the bottoms. (4) The soil has been well protected in the area after the previous farmlands were returned to forestlands; and the soil from the upstream can be preserved by forest, but the underground leakage cannot be avoided due to the particularity of karst environment.

Key words karst area, water loss and soil erosion, <sup>137</sup>Cs specific radioactivity, <sup>210</sup>Pb specific radioactivity

(编辑 张玲)