

# 红壤丘陵区土壤<sup>137</sup>Cs含量与土壤颗粒组成的关系研究 ——以江西省丰城市为例

濮励杰<sup>1,2</sup>, 韩书成<sup>1</sup>, 金平华<sup>1</sup>, 王金磊<sup>1</sup>, 潘少明<sup>3</sup>

(1. 南京大学 城市与资源学系, 江苏 南京 210093; 2. 国土资源部 土地利用重点实验室, 北京 100029;  
3. 南京大学 海岸与海岛开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210093)

**摘要:** 通过对江西省红壤地区的 39 个土壤剖面采样数据进行数理统计分析, 发现在土壤表层 20 cm 范围内, 不同土层<sup>137</sup>Cs含量与土壤粒径具有一定的相关性, 其中与砂粒含量和粉砂粒含量具有正相关关系, 与砾石含量和黏粒含量具有负相关关系。通过逐步回归分析发现, 在各土层与<sup>137</sup>Cs含量关系最为密切是砂砾含量, 两者呈现显著的正相关关系。同时建立了<sup>137</sup>Cs含量与砂砾含量的定量关系模型, 并通过方差分析证明该模型可靠, 但该模型应用于土壤侵蚀还需要进一步研究。

**关键词:** <sup>137</sup>Cs含量; 土壤颗粒组成; 红壤丘陵区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)04-0011-05

中图分类号: S152.4, X837

## Relationship Between <sup>137</sup>Cs Content and Composition of Soil Particles in Red Soil Region ——A Case Study of Fengcheng City, Jiangxi Province

PU Li-jie<sup>1,2</sup>, HAN Shu-cheng<sup>1</sup>, JIN Ping-hua<sup>1</sup>, WANG Jin-lei<sup>1</sup>, PAN Shao-ming<sup>3</sup>

(1. Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China;

2. Key Laboratory of Land Use, Ministry of Land and Resources, Beijing 100029, China; 3. Key Laboratory

for Coast and Islands Development, Ministry of Education, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China)

**Abstract:** The <sup>137</sup>Cs tracing method is extensively used in the research fields of soil erosion and sediment transportation. For using the method, it is very important to determine the relationship between <sup>137</sup>Cs and the composition of soil particles. However, at present, research on this aspect is not well conducted. So, based on the data of 39 soil profiles in different areas of red soil, this paper analyzed the relationship between <sup>137</sup>Cs content and the composition of soil particles using statistical methods. The result showed that <sup>137</sup>Cs had a positive correlation with sand and silt contents, and had a negative correlation with gravel and clay contents within 20 cm of the soil surface. Then through correlation analysis and stepwise regression analysis, it was found that in different layers, sand content was the main factor contributing to <sup>137</sup>Cs. The quantitative model for the relationship between <sup>137</sup>Cs and the composition of soil particles was constructed. The model showed that <sup>137</sup>Cs increased with the increasing of sand content.

**Keywords:** <sup>137</sup>Cs content; composition of soil particles; red soil region

<sup>137</sup>Cs并非自然界本来就存在的,它是伴随着全球核试验进入自然界的<sup>[1-2]</sup>,由于其特殊的理化性质而成为研究土壤侵蚀和泥砂沉积的一种良好的示踪源<sup>[3-4]</sup>。因此,<sup>137</sup>Cs在土壤侵蚀研究方面在国内外得到广泛的应用<sup>[2,4-10]</sup>。在<sup>137</sup>Cs法的应用中,关键问题之一是要查明<sup>137</sup>Cs的再分配过程。土壤颗粒作为<sup>137</sup>Cs的吸附体和<sup>137</sup>Cs再分配的载体,以不同的颗粒吸附力和渗透性决定<sup>137</sup>Cs含量及其再分配过

程<sup>[11]</sup>。虽然<sup>137</sup>Cs法被广泛应用于土壤侵蚀和泥砂来源的研究中,但对<sup>137</sup>Cs含量和土壤颗粒的关系研究还不是很充分。

在<sup>137</sup>Cs法应用的初期,Lomenick和Tamura研究认为湖相沉积物中35%的黏粒成分吸附了84%的<sup>137</sup>Cs<sup>[12]</sup>,即<sup>137</sup>Cs活度主要与黏粒含量有关。在国内,张信宝等研究认为,在沉积区域内的土壤剖面中,<sup>137</sup>Cs分布规律与<10 μm粒级的土壤颗粒的剖面分

收稿日期:2005-11-14

资助项目:国家自然科学基金(40371106,40101007);教育部“跨世纪优秀人才培养计划”基金(2003);江苏省“青蓝工程”中青年学术带头人培养计划“基金(2002)联合资助

作者简介:濮励杰(1965—),男(汉族),江苏省吴江县人,博士,教授,博士生导师,主要从事土地利用与土地退化、土地规划与土地管理等方面的教学与科研工作。E-mail:lipu@nju.edu.cn。

布规律一致<sup>[13]</sup>,此也隐含着<sup>137</sup>Cs与黏粒含量密切相关。另外严平等人选取了共和盆地的3种土壤类型研究了土壤粒径与<sup>137</sup>Cs含量的关系<sup>[11]</sup>,研究结果表明,砂质土的<sup>137</sup>Cs活度与平均粒径间呈负指数关系,0.01~0.10 mm组分对<sup>137</sup>Cs含量的影响最为显著;壤质土的<sup>137</sup>Cs活度主要与粗粉砂(0.01~0.05 mm)含量有关,与<0.01 mm的物理性黏粒含量无关。李仁英等研究了黄土高原区<sup>137</sup>Cs含量与土壤颗粒及有机质的关系,并没有发现土壤颗粒与<sup>137</sup>Cs含量在土壤剖面分布趋势的一致性<sup>[14]</sup>。在红壤地区,有人研究过<sup>137</sup>Cs在土壤剖面中的分布规律<sup>[15]</sup>,但是对红壤地区土壤颗粒与<sup>137</sup>Cs含量的关系研究还很少。

从以上可以看出,目前对土壤颗粒和<sup>137</sup>Cs含量的关系研究还不充分,结果也不完全一致。而土壤侵蚀(不管是风蚀还是水蚀)及沉积都有一定的分选性,由此会造成不同地点土壤颗粒组成的差异。因此研究土壤颗粒组成和<sup>137</sup>Cs含量的关系,对更准确的研究土壤侵蚀具有重要的意义。如果能建立两者之间的定量模型,就可以通过测定土壤的机械组成来推算土壤中的<sup>137</sup>Cs含量,进而测定土壤侵蚀(堆积)量。因此,本文试图以红壤丘陵区江西省丰城市为例探讨<sup>137</sup>Cs含量与土壤颗粒组成的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区选择及样品采集

本研究选取属于红壤丘陵区的江西省丰城市。该市属于长江中上游地区,位于江西省中部,居赣江下游,为半平原市。地貌类型以丘陵为主,中部为平原。土壤以水稻土、潮土和上帝红壤、黄壤为主,土层深厚肥沃,有机质含量高。水系为赣江水系,主要河流有赣江、抚河、清风山河、丰水、秀水和芑水,境内水库有紫云山水库和潘桥水库。气候属于中亚热带湿润季风气候,光照充足,雨量充沛,无霜期长,年平均气温17.6,极端最高气温39.7,极端最低气温-10.5,年平均降雨量1500~1700 mm,年均无霜期274 d,日照时数1936 h。森林植被属于亚热带常绿阔叶林区,其地带性植被为亚热带常绿阔叶林,乔木树种有杉树、马尾松、湿地松、枫香、木荷等,灌木树种主要有杜鹃和算盘子等,草本植物主要有蕨、芒其、巴茅等。

采样地点选择在湖塘、梅林和尚庄三地,每个地方选取3个坡面,每坡面从坡顶到坡底选4~6个采样剖面,进行分层采样(每5 cm一层),采样深度为25 cm,个别采样深度为20 cm和30 cm。共采集土壤剖面39个。

### 1.2 样品分析

对采集的土壤样品分层测试其粒径和<sup>137</sup>Cs质量活度。

(1) 粒度实验室分析。取过10目筛的土壤样品1 g左右,放入200 ml烧杯中,用稀盐酸浸泡24 h去除碳酸钙等,然后抽掉上层溶液。再加满水稀释浸泡24 h,倒出上层溶液加入双氧水浸泡24 h去除有机质,然后再抽掉上层溶液,加入配制好的六偏磷酸钠分散剂即可放入仪器测试。测试仪器为英国马尔文公司生产的mastersizer 2000型粒度测试仪,仪器每秒扫描1000次,测试范围为0.02~2000 μm,分100个粒径单位重复测量3次,取平均值,重复性误差小于1%。粒级划分采用2进制,分为4个级别,各级别对应的粒级范围如表1。

表1 不同土壤颗粒级别及其对应的粒径范围 mm

粒级	砾石级	砂粒级	粉砂级	黏粒级
粒级范围	>2	2~0.25	0.25~0.0625	0.0625~0.004

(2) <sup>137</sup>Cs含量的测定(以质量活度表示)。采集样品经过烘干、碾磨、过筛及称重后,在南京大学专门实验室进行测量。实验测量设备由高纯谱锗探测器、液氮容器、数字化射线谱仪、微机多道分析器等部分组成。探测器是美国ORTEC(坎培拉)公司生产的GMX30P—A高纯锗同轴探测器;数字化射线谱仪是ORTEC(坎培拉)公司的DSPECPLUS,工作电压4000 V;微机多道分析器使用ORTEC(坎培拉)公司的Gamma Vision—32软件,在Win2000平台上使用该系统测定<sup>137</sup>Cs的浓度值。样品的<sup>137</sup>Cs质量活度采用相对测量法,标准源是加拿大贝德福海洋研究所提供的强度为860.5 Bq/kg,重65.4 g,每个样品的测定时间为21600 s,样品<sup>137</sup>Cs质量活度根据661.7 KeV射线全峰净面积求得,单位为Bq/kg,样品重复测试结果相对误差<10%。

## 2 结果分析

### 2.1 <sup>137</sup>Cs含量与土壤粒径关系分析

从采集样品的测定结果来看,在江西省红壤地区,土壤剖面中<sup>137</sup>Cs的分布深度基本在25 cm内,主要集中在20 cm范围内,有个别剖面点<sup>137</sup>Cs分布深度达30 cm。由于<sup>137</sup>Cs主要集中在20 cm内,且<sup>137</sup>Cs在土壤中的垂直迁移量很小,因此本研究主要分析20 cm内土壤剖面中不同层次<sup>137</sup>Cs含量与土壤粒径的关系。研究表明,<sup>137</sup>Cs含量都是随着深度的增加而逐渐减少的。各层次<sup>137</sup>Cs含量与土壤颗粒的关系见图1—4。

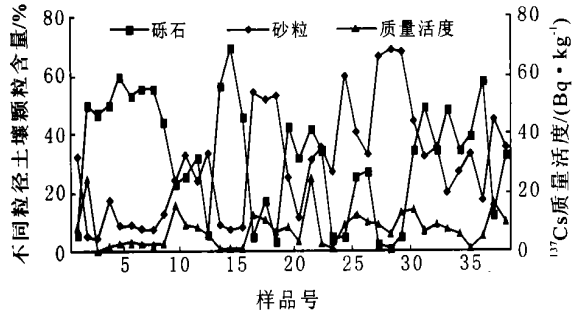


图 1a 0—5 cm 土层<sup>137</sup>Cs 含量与砾石含量和砂粒含量的关系

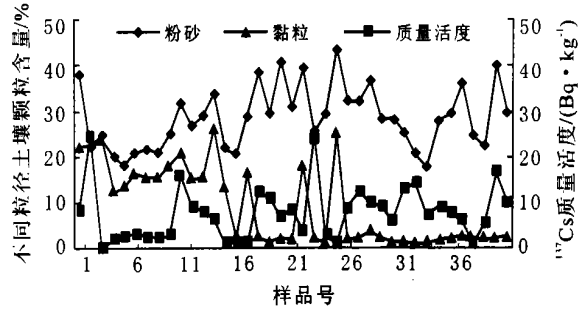


图 1b 0—5 cm 土层<sup>137</sup>Cs 含量与粉砂粒和黏粒含量的关系

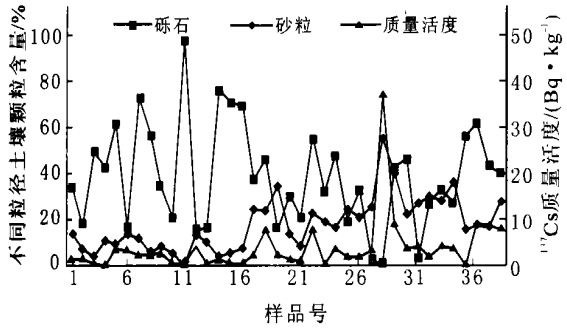


图 2a 5—10 cm 土层<sup>137</sup>Cs 含量与砾石含量和砂粒含量的关系

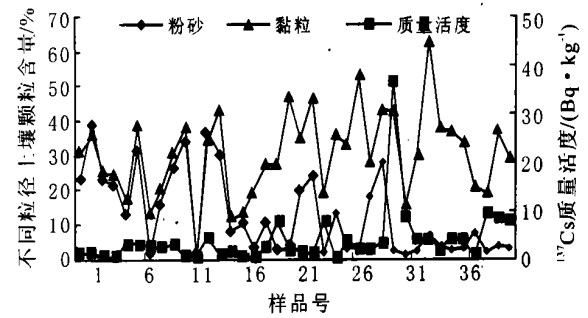


图 2b 5—10 cm 土层<sup>137</sup>Cs 含量与粉砂粒和黏粒含量的关系

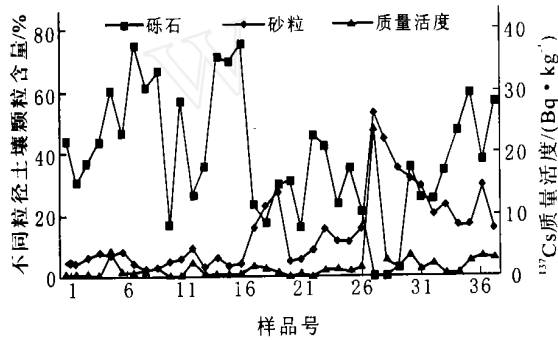


图 3a 10—15 cm 土层<sup>137</sup>Cs 含量与砾石含量和砂粒含量的关系

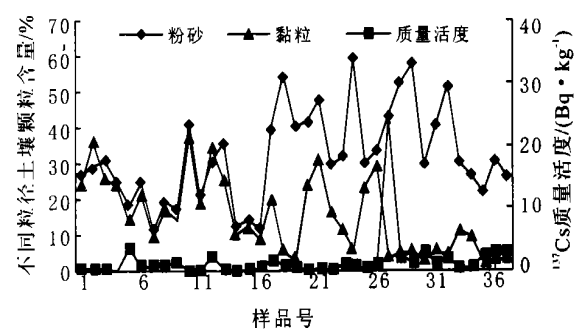


图 3b 10—15 cm 土层<sup>137</sup>Cs 含量与粉砂粒和黏粒含量的关系

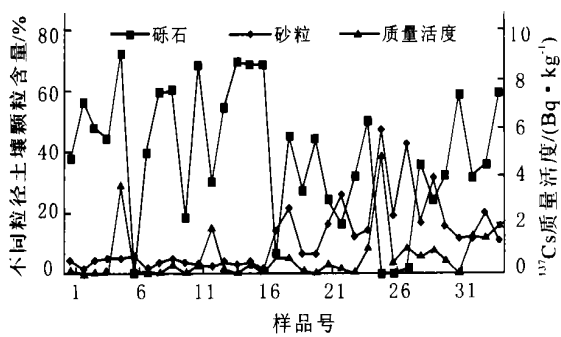


图 4a 15—20 cm 土层<sup>137</sup>Cs 含量与砾石含量和砂粒含量的关系

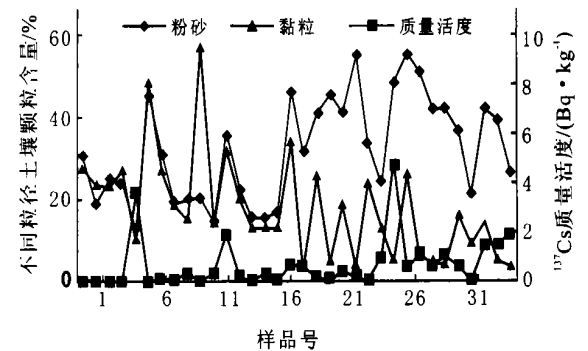


图 4b 15—20 cm 土层<sup>137</sup>Cs 含量与粉砂粒和黏粒含量的关系

2.1.1 0—5 cm 土层土壤<sup>137</sup>Cs含量与土壤颗粒组成的关系 从图 1a 和图 1b 可以看出,在土壤表层 0—

5 cm 内<sup>137</sup>Cs含量除个别点较高外,其值多在 10 Bq/kg 以下,其变化幅度也不是很大。而土壤粒径却变

化较大,同时可以发现在 3 个不同的采样点,其土壤粒径也不一致。在湖塘,砾石含量普遍较高,砂粒含量较低,而黏粒含量远高于梅林和尚庄两地。砂粒含量却相反,湖塘比梅林和尚庄低,粉砂粒含量差别不大。梅林和尚庄两地的砾石含量变异较大。从<sup>137</sup>Cs含量与不同粒径的土壤颗粒含量的关系来看,<sup>137</sup>Cs含量与砾石含量有负相关的关系,即砾石含量越高,<sup>137</sup>Cs含量越低的趋势,与砂粒含量呈正相关,与黏粒含量和粉砂粒含量的关系较为复杂,这可以从<sup>137</sup>Cs含量与不同粒径土壤颗粒含量的折线图上表现出来。

2.1.2 5—10 cm 土层土壤<sup>137</sup>Cs含量与土壤颗粒组成的关系 在 5—10 cm 的范围内,从<sup>137</sup>Cs含量的折线图来看,除了第 28 号采样点(可能为异常值点)值较高外,其余的变异幅度很小。

从土壤颗粒组成的差异来看,梅林和尚庄两地的砂粒含量要稍高于湖塘,在湖塘粉砂粒含量与黏粒含量值非常接近,而在梅林和尚庄这 2 类颗粒含量有较大的差异。从图 2a 和图 2b 可以看出 5—10 cm 土层<sup>137</sup>Cs含量与不同粒径土壤颗粒含量的直观关系。从曲线的变化趋势来看,<sup>137</sup>Cs含量与砂粒含量的变化趋势具有很强的一致性,随着砂粒含量的增减而增减。与砾石含量、粉砂粒含量和黏粒含量的关系并不明显。

2.1.3 10—15 cm 土层土壤<sup>137</sup>Cs含量与土壤颗粒组成的关系 从图 3a 和图 3b 来看,<sup>137</sup>Cs含量除了一个采样点值较大外,其余变化幅度不大,基本维持在同一水平。不过从曲线的变化趋势上来看,<sup>137</sup>Cs含量随砂粒含量的增加而增加,随黏粒含量的增加而减少。而其它几级土壤颗粒含量变异较大,与<sup>137</sup>Cs含量的关系也不是很明显。

2.1.4 15—20 cm 土层土壤<sup>137</sup>Cs含量与土壤颗粒组成的关系 从图 4a 来看,在 15—20 cm 土层,<sup>137</sup>Cs含量除了几个采样点外,总的来看是与砂粒含量有相同的变化趋势,<sup>137</sup>Cs含量随砂粒含量的增加而增加,随其减少而减少。同时可以看出在该土层,砾石含量变化较剧烈,它和<sup>137</sup>Cs含量的关系也不明显。<sup>137</sup>Cs含量与粉砂粒和黏粒含量的关系比较复杂,有些样点呈正相关,有些样点呈负相关。

## 2.2 <sup>137</sup>Cs含量与土壤颗粒组成关系模型分析

通过上面的定性分析,可以看出<sup>137</sup>Cs含量主要与砂粒含量呈一定的正相关性。为了进一步分析<sup>137</sup>Cs含量与不同粒径土壤颗粒含量的定量关系,运用 SPSS 数据分析软件进行相关分析。不同土壤层次<sup>137</sup>Cs含量与不同粒径土壤颗粒含量的相关系数如表 2 所示。

表 2 不同土壤层次<sup>137</sup>Cs含量与不同粒径土壤颗粒含量的相关系数矩阵

土层/cm	砾石含量	砂粒含量	粉砂粒含量	黏粒含量
0—5	- 0.290	0.361 *	0.128	- 0.223
5—10	0.255	0.668 **	0.124	- 0.303
10—15	- 0.329 *	0.620 **	0.165	- 0.283
15—20	- 0.156	0.503 **	0.159	- 0.336

注: \*表示相关系数达显著水平( $P < 0.05$ ), \*\*表示相关系数达极显著水平( $P < 0.01$ )。

从相关系数矩阵来看,不同土壤深度<sup>137</sup>Cs含量均与砾石含量和黏粒含量呈负相关,而与砂粒和粉砂粒含量呈正相关。但是在不同层次,其相关性大小不同。在土壤表层 0—5 cm 内主要与砂粒含量和砾石含量有较强的相关性,在 5—10 cm 及 15—20 cm 主要与砂粒含量和黏粒含量相关性较强,在 10—15 cm 内则主要与砂粒含量和砾石含量有较强的相关性。总的来看,与砂粒含量都呈显著或极显著正相关,尤其在 5 cm 以下层次表现更为明显,而与黏粒含量有一定的负相关性。这一点与以往的研究结论似有矛盾之处。张信宝等人的研究认为在土壤剖面中<sup>137</sup>Cs的分布与黏粒的分布趋势是一致的<sup>[13]</sup>,这也就是说<sup>137</sup>Cs含量与黏粒含量呈正相关,但在本研究中,却发现与黏粒含量呈负相关,不过显著性不强。发生矛盾的原因也许在于研究区域的不同,土壤成土母质、降雨条件等不同。

虽然相关分析可以帮助了解土壤<sup>137</sup>Cs含量与土壤粒度的密切关系,但还不能确切表明它们之间的数量关系。由于不同土层<sup>137</sup>Cs含量受不同粒径的土壤颗粒的影响,因此可以采用逐步回归的方法找出与<sup>137</sup>Cs含量最为密切的土壤颗粒含量并建立数学模型。其中: $x_1$ 为砾石含量, $x_2$ 为砂粒含量, $x_3$ 为粉砂粒含量, $x_4$ 为黏粒含量。不同层次<sup>137</sup>Cs含量与土壤颗粒组成的关系模型见表 3。

表 3 不同土壤层次<sup>137</sup>Cs含量与土壤颗粒组成的关系模型

土层/cm	模型	显著性水平
0—5	$y = 4.278 + 0.115x_2$	0.024
5—10	$y = - 2.426 + 0.350x_2$	0.000
10—15	$y = - 1.107 + 0.198x_2$	0.000
15—20	$y = 0.115 + 0.04713x_2$	0.002

通过以上逐步回归分析结果可以看出,在不同层次上,对<sup>137</sup>Cs含量影响最大的都是砂粒含量,而砾石含量、粉砂粒含量和黏粒含量对<sup>137</sup>Cs含量的影响不大,这 3 个变量都没有被引入方程。从模型回归系数

可以看出,<sup>137</sup>Cs含量都是随着土壤中砂粒含量的增加而增加的。通过方差分析可以看出,除了0—5 cm的预测模型的显著性达到0.05的显著水平外,其余的几个层次都达到0.01的极显著水平,说明回归模型精度可靠,可以根据土壤剖面不同层次中砂粒的百分含量来预测各层次的<sup>137</sup>Cs含量。

### 3 结 论

通过对红壤丘陵区多个土壤剖面不同层次<sup>137</sup>Cs含量和土壤颗粒组成的关系分析,得出如下结果。

(1) 在红壤丘陵区,表层20 cm范围内不同土层<sup>137</sup>Cs含量与土壤颗粒组成具有一定的相关性,其中<sup>137</sup>Cs含量与砂粒含量和粉砂粒含量呈正相关,与砾石含量和黏粒含量呈一定的负相关关系。

(2) 从不同层次<sup>137</sup>Cs含量和土壤颗粒组成的定量关系分析来看,在各不同土层,土壤<sup>137</sup>Cs含量都与砂粒含量有显著的正相关关系,而与其它粒级土壤颗粒含量的关系并不显著。

本研究结果与人们认为<sup>137</sup>Cs含量主要与黏粒含量有关的认识有些矛盾。分析其产生矛盾的原因,很可能是研究区域不同,土壤成土母质和成土条件不同造成土壤性质不同引起的。另外由于<sup>137</sup>Cs的沉降与再分配受气候条件的影响较大,因此不同区域气候条件的差异也可能造成<sup>137</sup>Cs与土壤颗粒组成的关系不同。而<sup>137</sup>Cs含量除了与土壤颗粒大小有关外,还与土壤有机质含量等有密切的关系。因此仅考虑土壤粒径可能还不能来精确预测土壤<sup>137</sup>Cs含量。同时由于非耕作土壤和耕作土壤中<sup>137</sup>Cs的分布特征不同,非耕作土壤中呈指数递减,而在耕作土壤中多呈均匀分布,因此在预测土壤中<sup>137</sup>Cs含量的过程中还必须把耕作土壤和非耕作土壤区分开来。但通过本试验的初步研究说明土壤中<sup>137</sup>Cs含量与不同粒级土壤颗粒含量的相关关系是不同的。而由于土壤侵蚀和沉积的分选作用,可能会造成某处土壤颗粒组成的变化以及侵蚀或沉积量与<sup>137</sup>Cs含量不相匹配的情况,因此对两者之间的关系还需要进行深入研究。

致谢:本工作得到南京大学物理系核物理实验室徐其高教授的大力支持,谨表谢意。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Carter M W, Moghissi A A. Three decades of nuclear testing[J]. *Journal of Health Physics*, 1977, 33: 55—57.
- [2] 濮励杰,包浩生, D L Higgitt. 土地退化方法应用初步研究——以闽西沙县东溪流域为例[J]. *自然资源学报*, 1999, 14(1): 55—61.
- [3] Wise S M. Caesium - 137 and Lead - 210: a review of the techniques and some applications in geomorphology [A]. Cullingford R A, Davidson D A, Lewin J. *Timescales in Geomorphology* [C]. Chichester (U K): John Wiley & Sons, 1980. 109—127.
- [4] Ritchie J C, McHenry J R. Application of radioactive fallout Cesium - 137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns, a review [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1990, 19: 215—233.
- [5] Pu L J, Bao H S, Peng B Z, et al. Distribution and assessment of soil and land degradation in subtropical China - A case study of Dongxi River Basin, Fujian Province [J]. *Pedosphere*, 1998, 8(3): 201—210.
- [6] Quine T A, Walling D E, Zhang X, et al. Investigation of soil erosion on terraced fields near Yangting, Sichuan Province, using Cesium - 137 [C]. In: *Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions* (Proceedings of the Chengdu Symposium, July 1992). IAHS Publication, 1992, 209: 155—168.
- [7] Walling D E, Quine T A. The use of Cesium - 137 measurements in soil erosion surveys [C]. In: *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programs in River Basins* (Proceeding of the Oslo Symposium). IAHS Publication, 1992, 210: 143—152.
- [8] 王金磊,濮励杰,金平华,等. <sup>137</sup>Cs法应用于流域土壤侵蚀初步研究——以太湖上游浙江省安吉县西苕溪为例[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 2003, 39(6): 788—796.
- [9] 严平,董光荣,张信宝,等. <sup>137</sup>Cs法测定青藏高原土壤风蚀的初步结果[J]. *科学通报*, 2000, 45(2): 199—204.
- [10] Zhang X, Higgitt D L, Walling D E. A Preliminary assessment of the potential for using Cesium - 137 to estimate soil loss in the Loess Plateau of China. *Hydrological Sciences Journal*. 1990, 35: 243—252.
- [11] 严平,高尚玉,董光荣. 土壤颗粒组成影响<sup>137</sup>Cs含量的初步试验结果[J]. *中国沙漠*, 2002, 22(2): 150—153.
- [12] Lomenick T F, Tamura T. Naturally occurring fixation of <sup>137</sup>Cs on sediments of lacustrine origin [J]. *Soil Science Society of America Proceedings*, 1965, 29: 383—386.
- [13] Zhang X B, Li S L, Wang C H, et al. Use of <sup>137</sup>Cs measurements to investigate erosion and sediment sources within a small drainage basin in the Loess Plateau of China [J]. *Hydrological Processes*, 1989(3): 317—323.
- [14] 李仁英,杨浩,赵晓光,等. 黄土高原区<sup>137</sup>Cs与土壤颗粒及有机质的关系研究[J]. *水土保持学报*, 2003, 17(6): 153—155.
- [15] 庄舜尧,吴春艳,杨浩. 红壤侵蚀沉积点<sup>137</sup>Cs垂直剖面分布特征[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(2): 65—67.