

# 长江上游紫色土坡耕地土壤侵蚀<sup>137</sup>Cs 示踪法研究

文安邦<sup>1</sup>, 张信宝<sup>1</sup>, 王玉宽<sup>1</sup>, 张一云<sup>2</sup>, 徐家云<sup>2</sup>, 白立新<sup>2</sup>

(1. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所环境研究中心, 四川 成都 610041; 2. 四川大学物理系, 四川 成都 610041)

**摘 要:** 运用<sup>137</sup>Cs 示踪法对长江上游“长治”水土保持工程重点治理区的云贵高原区、川中丘陵区 and 三峡库区 8 块紫色土坡耕地土壤侵蚀速率研究结果表明, 影响紫色土坡耕地平均侵蚀速率的主要因子为坡度、坡长、降雨量和土壤粒度组成, 四个研究区土壤平均侵蚀速率介于 758t/km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>~9 854 t/km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>, 计算值与长江上游类似地区径流试验场观测值基本一致。

**关键词:** 紫色土; 土壤侵蚀速率; <sup>137</sup>Cs 法  
**中图分类号:** S157      **文献标识码:** A

## 1 概况

利用原子爆炸产生的<sup>137</sup>Cs 同位素作为示踪物研究侵蚀泥沙问题, 60 年代始于美国。70 年代, 澳大利亚相继开展了此项研究。英国于 80 年代早期, 中国于 80 年代后期也相继开展了此项研究<sup>[1]</sup>。<sup>137</sup>Cs 是铯元素的一种同位素, 半衰期 30.1 a。由于半衰期短, 地壳中基本不存在天然的<sup>137</sup>Cs。地球表层环境中的<sup>137</sup>Cs, 主要来源于 50~70 年代期间的大气核试验。<sup>137</sup>Cs 随降水沉降到地表后, 一旦接触到土壤颗粒, 立即被牢固吸附。<sup>137</sup>Cs 被土壤颗粒吸附后, 基本不淋溶流失和被植物摄取, 它以后的运动主要伴随被吸附的泥沙颗粒运移, 因此是侵蚀泥沙研究的一种很有价值的人工环境核同位素。

## 2 土壤侵蚀 <sup>137</sup>Cs 示踪法的基本原理及计算模型

土壤剖面的<sup>137</sup>Cs 面积浓度低于或高于区域<sup>137</sup>Cs 本底值, 一般表明该土壤剖面处有侵蚀或堆积发生, 根据<sup>137</sup>Cs 的流失量或堆积量, 可以定性分析或定量计算取样剖面处的平均土壤侵蚀速率。取样点平均侵蚀速率的计算模型为<sup>[2]</sup>

$$X=X_0(1-\Delta H/H)^{N-1963} \tag{1}$$

式中  $X$  为取样剖面点<sup>137</sup>Cs 面积浓度(Bq/m<sup>2</sup>);  $X_0$

为研究区域的<sup>137</sup>Cs 本底值(Bq/m<sup>2</sup>);  $H$  为犁耕层深度;  $\Delta H$  为年土壤流失厚度(cm);  $N$  为取样年份。

上式计算结果仅为取样剖面点的侵蚀强度, 不表征取样地块的平均侵蚀速率。结合取样地块的坡长, 加权计算取样地块<sup>137</sup>Cs 平均面积浓度, 运用上式计算研究地块的平均土壤侵蚀速率。

## 3 研究区域概况及样品采集

### 3.1 研究区概况

本研究以紫色土坡耕地为主, 研究区分别为长江上游水土保持“长治”工程重点治理区的云贵高原区、川中丘陵区 and 三峡库区。研究地点共选取了 8 块坡耕地, 分别为云贵高原区的云南省楚雄彝族自治州牟定县庆丰小流域、昭通地区彝良县发达河流域; 川中丘陵区的四川省南充市嘉陵江流域的金花镇 and 三峡库区的重庆市万州区开县兴龙小流域。取样坡耕地基本情况(表 1)。

### 3.2 样品采集、处理和测试

<sup>137</sup>Cs 法研究土壤侵蚀量需采集土壤剖面样品, 分土壤剖面全样和分层样二种。土壤剖面全样多采用取样筒取样, 将取样筒垂直打入地面至一定深度后, 拔出取样筒, 将筒中全部土壤装入土样袋。取样筒直径一般不小于 7 cm; 取样筒入土深度应超过可能含<sup>137</sup>Cs 土层深度, 无堆积发生的土壤剖面入土深度 35 cm~40 cm 即可, 有堆积发生的剖面根据堆积

情况而定。土壤剖面分层样采用长 20 cm、宽 10 cm、高 2 cm 的矩形框, 将取样框打入地面, 边框顶和地面齐平后, 用刮刀仔细刮出取样框内土壤, 取完一层后, 再将取样框向下打入, 直至边框顶和上层取样后的框内地面齐平。

表 1 研究区多年平均降雨量和取样地块概况  
Table 1 Annual rainfall and the general situation in the study regions

研究区域	多年平均降雨量(mm)	取样地块	
		坡长(m)	坡度(°)
云南牟定县彭家村(庆丰小流域)	850	13	20
彝良县发达河流域	800	21	25
南充市金花镇(嘉陵江流域)	1000	17	11
	1000	9	5
	1000	25	14
	1200	10	25
重庆市万州区开县(兴龙小流域)	1200	5	25
	1200	13	25

<sup>137</sup>Cs 本底值土壤剖面样品, 国外研究者一般选择无侵蚀的平坦草地(多为牧草地); 国内无侵蚀草地较少, 可选择大块平坦无侵蚀的旱作农地(老梯田)。本底值取样地最好布设在侵蚀研究地块附近。

样品采集时采用网格法或地形剖面线法取样, 网格法取样, 研究地块内取样剖面分布是网格状, 纵横成行, 分别平行或垂直坡向。取样土壤剖面基本均匀分布于从坡顶到坡脚的整个地块, 每行取样土壤剖面不少于 4 个。地形剖面线法, 每一研究地块从坡顶到坡脚沿地形剖面线基本均匀布设取样土壤剖面。网格法和地形剖面线法的坡顶和坡脚土壤剖面, 应距地块边缘 0.5 m~1.0 m。

3.3 样品处理与测试

样品经风干、称重, 然后研磨、过筛(2.00 mm), 剔除大颗粒和草根, 称重。

用 γ 能谱仪测定处理后的样品的<sup>137</sup>Cs 含量, 探头采用高纯锗探头。<sup>137</sup>Cs 含量根据 661.6 Kev 的(射线全峰面积计算。样品测试不少于 380 g, 量测

时间 30 000 s, 重复测定误差≤6 %。样品测重少于 380 g, 应增加量测时间, 以保证测试精度(样品测重以不少于 250 g 为宜)。

4 结果

4.1 研究区<sup>137</sup>Cs 区域本底值

牟定、彝良、开县和南充四个研究区, 除云南彝良外, 高覆盖度林草地分布较少,<sup>137</sup>Cs 本底值土壤样品主要采集于老梯田(地), 四个研究区<sup>137</sup>Cs 本底值差异较大, 介于 919.8~2035.8Bq/m<sup>2</sup>(表 2)。<sup>137</sup>Cs 本底值高低主要与研究区地理纬度、降雨量和降雨类型关系密切。四川南充和重庆开县<sup>137</sup>Cs 本底值较高, 分别为 2 035.8 Bq/m<sup>2</sup> 和 1 924.6 Bq/m<sup>2</sup>, 主要是地理纬度较高和降雨量较大的缘故; 云南牟定和彝良<sup>137</sup>Cs 本底值较低, 分别为 919.8 Bq/m<sup>2</sup> 和 1 510.4 Bq/m<sup>2</sup>, 除了地理纬度较低外, 主要与研究区降雨水汽主要来源于低纬度的西南季风水汽有关。

表 2 研究区<sup>137</sup>Cs 本底值  
Table 2 <sup>137</sup>Cs reference inventory in the study regions

研究区		地理纬度	土地利用类型	样品数(N)	<sup>137</sup> Cs 本底值(Bq/m <sup>2</sup> )
云贵高原区	云南牟定县	25° 20′	老梯田(地)	4	919. 8
	云南彝良县	27° 20′	高覆盖度林草地	3	1510. 4
川中丘陵区	四川南充市	30° 50′	老梯田(地)	4	2035. 8
三峡库区	重庆开县	31° 10′	老梯田(地)	5	1924. 6

4.2 <sup>137</sup>Cs 有效本底值与<sup>137</sup>Cs 坡面分布特征

4.2.1 <sup>137</sup>Cs 区域有效本底值

长江上游地区和黄土高原地区相比, 长江上游地区气候湿润, 降雨量大, 径流系数较高, 土壤抗侵蚀性较强, 核爆期间农耕地<sup>137</sup>Cs 表面富集现象引起的<sup>137</sup>Cs 流失系数较大, 用<sup>137</sup>Cs 本底值求得的坡耕地平均侵蚀量往往偏大。根据 1995 年在四川海螺沟引入<sup>137</sup>Cs 有效本底值的研究结果表明, 利用<sup>137</sup>Cs 有效本底值计算的坡耕地平均土壤侵蚀速率, 较为真实反映土壤的侵蚀强度。因此, 长江上游坡耕地侵蚀量的计算模型必须采用<sup>137</sup>Cs 有效本底值, <sup>137</sup>Cs 有效本底值(Xe)和<sup>137</sup>Cs 本底值(X<sub>0</sub>)之间存在以下关

系<sup>[3]</sup>

$$Xe=X_0(1-R) \tag{2}$$

式中 R= 径流系数。

利用(2)式计算, 长江上游四个研究区<sup>137</sup>Cs 有效本底值介于 643.9~1425.1 Bq/m<sup>2</sup>。其中: 云南牟定 643.9 Bq/m<sup>2</sup>、彝良 1 057.3 Bq/m<sup>2</sup>; 重庆开县 1 347.2 Bq/m<sup>2</sup> 和南充 1 425.1 Bq/m<sup>2</sup>。

4.2.2 紫色土坡耕地<sup>137</sup>Cs 坡面分布特征

由图 1 可见, 坡耕地<sup>137</sup>Cs 坡面分布大致呈坡地顶部最低, 分别为 274.6 Bq/m<sup>2</sup> 和 229.3 Bq/m<sup>2</sup>; 坡地底部最高, 为 773.1 Bq/m<sup>2</sup>, 是坡地顶部平均值的 3.1 倍; 坡地中部介于其间。

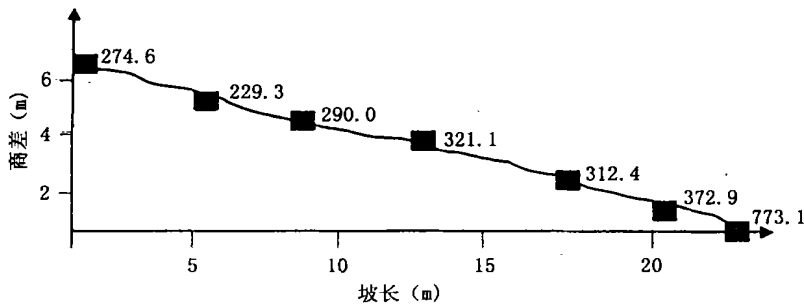


图 1 坡耕地<sup>137</sup>Cs 坡面分布

Fig. 1 <sup>137</sup>Cs distribution along a cultivated slope

4.3 坡耕地土壤平均侵蚀速率

利用公式(1), 引入<sup>137</sup>Cs 有效本底值, 计算长江上游三个研究区 8 块紫色土坡耕地土壤平均侵蚀速率介于 758 t/km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>~9 854 t/km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>(表 3)。表 3 可见, 紫色土坡耕地抗蚀性较差, 土壤侵蚀强烈, 土壤平均侵蚀速率随坡度的增加, 侵蚀明显增强。同

一研究区, 在坡度相同的情况下, 土壤侵蚀强度随坡长的增加, 土壤侵蚀增强, 主要是由于坡耕地随坡长的增长, 土壤侵蚀形态发生了较大变化, 短坡坡地, 径流汇集路径短, 侵蚀形态主要以溅蚀为主, 基本无沟蚀, 侵蚀相对较弱; 随着坡长增加, 径流汇集路径增加, 侵蚀形态既有坡耕地顶部的溅蚀, 常常在坡耕地的中下部形成细沟或浅沟侵蚀, 侵蚀强度增强。

表 3 长江上游紫色土坡耕地平均侵蚀速率

Table 3 Annual soil erosion rate of purple cultivated slope land in the Upper Yangtze River

取样点	坡长(m)	坡度(°)	<sup>137</sup> Cs 面积浓度(Bq/m <sup>2</sup> )		取样剖面线	取样剖面	土壤侵蚀速率(t/km <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
			变化幅度	平均值			
牟定	13	20	88.0~488.0	204.9	4	14	6271
	21	25	84.8~632	3261	2	8	8543
开县	10	25	125.0~927.6	382.5	1	4	8929
	5	25	13.0~1202.3	499.3	1	4	7481
	13	25	161.0~692.6	362.2	1	4	9854
南充	17	11	28.5~2378.6	709.5	1	5	4663
	9	5	312.0~2286.4	1443.4	1	4	758
	25	14	439.5~693.4	528.2	1	5	6780

通过平均侵蚀速率和土壤粒度组成的对比, <0.005 mm的粉粒含量高, 土壤抗蚀性增强, 侵蚀  
<0.005 mm的粉粒含量对土壤侵蚀强度影响较大, 相对较弱, 反之, 土壤抗蚀性弱, 侵蚀增强(表4)。

表4 坡耕地侵蚀速率与粒度组成  
Table 4 Soil erosion rate of purple cultivated slope land and its particles

取样点	土壤类型	平均侵蚀速率 (t/km <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	> 2 mm 颗粒含量 (%)	> 2 mm 粒组中细颗粒含量(%)	
				0.1 mm ~ 0.005 mm	< 0.005 mm
开县	紫色土(沙溪庙组)	8929	17.0	32.5	15.5
南充	紫色土(遂宁组)	6780	16.5	43.9	41.5

5 结论

1. 牟定、彝良、开县和南充<sup>137</sup>Cs 本底值差异较大, 介于 919.8 ~ 2035.8 Bq/m<sup>2</sup>; 主要与研究区地理纬度、降雨量和降雨类型有关; <sup>137</sup>Cs 有效本底值高低与核爆期间<sup>137</sup>Cs 表面富集有关, 研究区介于643.9 ~ 1 425.1 Bq/m<sup>2</sup>。
2. 利用<sup>137</sup>Cs 有效本底值计算四个研究区土壤平均侵蚀速率, 介于 758 t/km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup> ~ 9854 t/km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>。

3. 影响紫色土坡耕地平均侵蚀速率的主要因子为坡度、坡长、降雨量和土壤粒度组成。

参考文献:

[1] Ritchie, J. C. and J. R. Mchenry, 1975 Falbut Cs—137: a tool in conservation research, J J]. Soil Water Conserv. 30: 228 ~ 286.

[2] 张信宝, Higgitt, D. L., Walling, D. E., <sup>137</sup>Cs 法测算黄土高原土壤侵蚀速率的初步研究 J], 地球化学, 1991, (3): 212 ~ 218.

[3] X. B. ZHANG, T. A. QUINE, D. E. WALLING and A. B. WEN, 2000, A Study of soil Erosion on a Steep Cultivated Slope in the Mt. Gongga Region near Luding, Sichuan, China, Using the <sup>137</sup>Cs Technique[ M]. ACTA GEOLOGICA HISPANICA, VOL. 35, 229 ~ 238.

A Study on Soil Erosion Rates of the Purple Slope Cultivated Land Using Caesium-137 Technique in the Upper of the Yangtze River

WEN An-bang<sup>1</sup>, ZHANG Xin-bao<sup>1</sup>, WANG Yu-kuan<sup>1</sup>, Zhang Yi-yun<sup>2</sup>, XUN Jia-yun<sup>2</sup> and BAI Li-xin<sup>2</sup>  
(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu, 610041 China;  
2. Sichuan union university, Chengdu, 610041 China)

**Abstract:** The upper Yangtze River is one of the most severely eroded areas in China. The purple Cultivated slope land is one of the important sources for river sediment in the mountain regions. The paper reports the results of a preliminary investigation of the potential of using <sup>137</sup>Cs measurements on a purple sloping cultivated land in the upper Yangtze River. Soil samples were mainly collected from the purple cultivated slope land, and the <sup>137</sup>Cs reference samples collected from a plain grassland or terraced land where no disturbance sine 1953. The references inventory of <sup>137</sup>Cs in sampling region are between 919.8Bq/m<sup>2</sup> and The effective references inventory of <sup>137</sup>Cs in sampling region are between 643.9Bq/m<sup>2</sup> and 1425.1Bq/m<sup>2</sup>.The soil erosion rates of the purple cultivated slope land of sampling sites are from 758 t/km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup> to 9854 t/km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>.

**Key words:** purple slope cultivated land; soil erosion rate; Caesium-137 technique