

# 基于 $^{137}\text{Cs}$ 示踪的南方红壤丘陵区不同土地利用管理方式的侵蚀效应

王晓燕<sup>1</sup>, 李忠武<sup>2</sup>, 修成贤<sup>3</sup>

(1. 长沙理工大学 土木与建筑学院, 长沙 410114;

2. 湖南大学 环境科学与工程学院, 长沙 410082; 3. 莱州市云峰中学, 山东 莱州 261400)

**摘要:**南方红壤丘陵区因土壤侵蚀严重而成为生态脆弱地带。通过 $^{137}\text{Cs}$ 示踪技术,采用相关土壤侵蚀定量模型,对南方典型红壤丘陵区不同土地利用与管理方式下不同地貌部位的土壤侵蚀及其导致的侵蚀效应进行了研究。结果表明:研究区的 $^{137}\text{Cs}$ 的背景值为 $(1\,920\pm 125.6)\text{ Bq/m}^2$ ;  $^{137}\text{Cs}$ 含量在不同土地利用管理方式和地貌部位存在明显的分异;侵蚀强度总的变化趋势表现为:荒山>本地松林、水保林>桔园>桔园改苗圃地>苗圃,因侵蚀而导致的土壤有机质和其他理化性状也表现出大致相同的变化特征;而不同地貌部位的侵蚀模数则表现为坡顶相对较小,坡中和坡底则相对较大。

**关键词:** $^{137}\text{Cs}$ 示踪;红壤丘陵区;土地利用;侵蚀效应

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)02-0001-04

## Study on Soil Erosion and Its Effect on Different Landuse Types in the Red Soil Hilly Area of South China Based on $^{137}\text{Cs}$ Tracing

WANG Xiao-yan<sup>1</sup>, LI Zhong-wu<sup>2</sup>, XIU Cheng-xian<sup>3</sup>

(1. School of Civil Engineering Architecture, Changsha University of Science and Technology,

Changsha 410114, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Hu'nan University,

Changsha 410082, China; 3. Yunfeng Middle School of Laizhou, Shandong Province, Laizhou, Shandong 261400, China)

**Abstract:** Because of serious soil erosion and degradation, the red soil hilly region has become a fragile ecological area. Based on  $^{137}\text{Cs}$  tracing technique and soil erosion estimation models, the soil erosion rate and corresponding effect were studied on the representative land utilization of Shaoyang, Hunan province. The result showed that the reference inventory of  $^{137}\text{Cs}$  in the study area was  $(1\,920\pm 125.6)\text{ Bq/m}^2$ .  $^{137}\text{Cs}$  concentrations' distribution had obvious differentiation on the slope with different land use types and on the different parts of slope. The average soil erosion rate was also different, which decreased in the order of barren hill, local pine forest, soil and water conservation forest, citrus orchard, nursery garden changed from citrus orchard, nursery garden. The soil organic matter and other soil physicochemical properties also showed the same variation characteristics as soil erosion rate. On the different parts of slope, the soil erosion rate was relatively smaller on the top while relatively larger rate occurred on the middle and bottom of slope.

**Key words:**  $^{137}\text{Cs}$  tracing; red soil hilly area; land utilization; erosion effect

我国红壤山地丘陵区面积约106万 $\text{km}^2$ ,该区气候具有气温高、降雨量大等特点,雨水对土壤的淋洗作用强烈,有机质及养分流失严重,表层土壤严重酸化,土壤侵蚀严重;长期对该区山丘坡地资源的不合理利用,导致了土壤质量严重退化和土壤环境急剧恶化。我国学者对土地利用及耕作管理措施对土壤质量影响等方面进行了较多的研究,也在径流试验小区

尺度探讨了红壤丘陵区不同土地利用方式的侵蚀差异和土壤理化性质<sup>[1-2]</sup>。但基于小流域尺度对不同土地利用管理方式变化导致的土壤侵蚀效应研究相对很少。

本文以地处湘中典型红壤丘陵区的邵阳市水土保持试验场为例,运用 $^{137}\text{Cs}$ 示踪技术,分析该区土地利用管理方式变化下土壤侵蚀及土壤质量的变化特

征,为该地区水土流失的有效治理,土地利用管理优化及农业可持续发展提供科学依据。

## 1 研究区概况

以湖南省邵阳市水土保持科学研究所内的小流域为研究对象,其面积为 102 296 m<sup>2</sup>。邵阳市水土保持研究所位于邵阳市双清区火车站乡莲河村(111°22'E, 27°03'N),属于湖南省衡(阳)邵(阳)盆地腹地,属典型的红壤丘陵区地貌,海拔高度 231.18~276.63 m,区内土壤为红壤,成土母质主要为第四纪松散堆积物,大多坡地土层厚度约 20 cm,土壤质地以砂壤和壤土为主。水保所所在地属于中亚热带常绿林与针阔混交林带,但原生植被已破坏殆尽,目前该地区次生林地植被主要以美国松、马尾松为主,人工林地主要以苗圃为主,多以樟树、桂花树为主,经济林果全部为柑橘,但由于产品质量欠佳,经济效益极低而逐渐被替换为苗圃。研究区内土地利用方式主要有水土保持林、经济林(桔园)、苗圃、荒山、天然山地和极少量的耕地(梯土)。同时,基于研究需要,邵阳市水土保持所于 2003 年在该小流域内建有撂荒地、耕地、林地及草地等不同土地利用方式的长坡面标准径流小区 4 个,每个小区的坡面下方都建有径流池和沉沙池用来记录每次降雨的产流和产沙情况。研究区内年平均气温 17.1℃,年平均降水量约 1 397.7 mm,蒸发量约 1 353 mm,日照 1 510 h。

## 2 研究方法

### 2.1 土样采集与样品分析

根据研究区内现有的土地利用方式,选取水土保持林(美国松林)、马尾松林(天然山地)、桔园、苗圃、桔园改造地(由桔园改为苗圃)及荒山 6 种不同土地利用管理方式的地块作为样地。这些土地利用方式中,桔园、苗圃、桔园改造地,均为 20 世纪 70 年代根据原有荒山荒坡坡改造成梯土形式,顺坡耕作的农耕地已经完全被改造为小梯土形式,坡耕地已难寻觅。这些样地在湘中丘陵区土地利用方式中具有代表性。确定采样地块后,将每个地块划分成 3~4 个地貌部位,每个地貌部位采集 3 个土壤样品,采样深度为 20 cm 或 30 cm(具体视样点的土层厚度而定),在可能发生沉积的地方采样深度至 40 cm;各种土地利用方式的土壤分层样以 5 cm 的间隔进行采集,采样深度为 20~30 cm。

土样风干后过 1 mm 筛,并剔除植物根系及石块。土样测试采用美国 PerkinElmer 公司生产的 GMX50 型高纯锗探测器与 DSPec 型数字化谱仪,该谱仪的能量分辨率为 2.17 keV(<sup>60</sup>Co),峰康比为 59.29:1,能谱

仪的稳定性好(道漂小于 1 道/月),<sup>137</sup>Cs 的检测下限是 0.71 Bq/kg,样品重复测量误差小于 5%。<sup>137</sup>Cs 的含量用 661.6 keV 的  $\gamma$  射线的峰面积计算,被测样品的质量为 300 g 左右,测量时间均大于 20 000 s。

其他土壤性质的测量方法为:有机碳采用油浴加热重铬酸钾氧化——容量法,全氮采用半微量开氏法,全磷采用氢氧化钾—钼锑抗比色法测定,全钾采用氢氧化钠碱熔——火焰光度计法测定,CEC 采用 EDTA—乙酸铵盐交换法,颗粒分析采用吸管法。

### 2.2 基于<sup>137</sup>Cs 示踪的土壤侵蚀模数估算模型

计算农耕地<sup>137</sup>Cs 侵蚀的模型很多,其中应用较广泛的有 1984 年 Kachanoski 和 Jong<sup>[3]</sup>提出的质量平衡模型和 Zhang 等<sup>[4]</sup>在 Kachanoski 和 Jong 模型的基础上提出的修正质量平衡模型。Zhang 的模型简单,精度相对较高,因此本文选用 Zhang 的模型来计算农耕地土壤侵蚀量:

$$X_n = X_0(1 - \Delta h/H)^{n-1963}$$

式中: $X_n$ —— $n$  年时土壤剖面<sup>137</sup>Cs 的含量(Bq/m<sup>2</sup>); $X_0$ ——<sup>137</sup>Cs 的背景值(Bq/m<sup>2</sup>); $H$ ——犁耕层厚度(cm); $\Delta h$ ——土壤年流失厚度(cm)。

非农耕地土壤侵蚀的<sup>137</sup>Cs 模型采用 Zhang 等<sup>[4]</sup>基于非耕作土壤剖面<sup>137</sup>Cs 的指数分布形式提出的非农耕地土壤侵蚀量计算公式: $X = X_0 e^{-\lambda h}$   
式中: $X$ ——<sup>137</sup>Cs 面积浓度(Bq/m<sup>2</sup>); $X_0$ ——<sup>137</sup>Cs 本底值(Bq/m<sup>2</sup>); $\lambda$ ——<sup>137</sup>Cs 深度衰减系数,可由附近未受干扰的采样点求得; $h$ ——1963 年以来侵蚀总厚度(cm)。则土壤年侵蚀模数可表示为:

$$M = 10000 \Delta h \cdot D$$

式中: $M$ ——土壤年均侵蚀模数[t/(km<sup>2</sup>·a)]; $D$ ——土壤容重(g/cm<sup>3</sup>)。

## 3 结果与分析

### 3.1 研究区内背景值的确定

<sup>137</sup>Cs 的参照剖面要求侵蚀、沉积均很微弱,而南方红壤丘陵区土地垦殖程度很高,不管是水田还是旱地均是精耕细作,因而给背景值的确定带来一定的难题。本文在大量的实地调查的基础上,在该水土保持试验站内和其周边地区的山顶平坦区域分别采集了两处共 4 个土壤背景值样点,土壤样品经测试分析,<sup>137</sup>Cs 含量的最高值为(2 007.3±135.6) Bq/m<sup>2</sup>,最低值为(1 784.5±127.3) Bq/m<sup>2</sup>,取四个样品的平均值(1 920±125.6) Bq/m<sup>2</sup>为该研究区的背景值。这与其他研究者在同处于长江流域的其他区域的研究结果具有一致性,如濮励杰等<sup>[5]</sup>提出的江西丰城<sup>137</sup>Cs 的背景值为(1 992±145) Bq/m<sup>2</sup>、张燕等<sup>[6]</sup>采用

2 200 Bq/m<sup>2</sup> 为湖滢流域的背景值,金平华等<sup>[7]</sup>将太湖苕溪流域背景值定为 2 148.8 Bq/m<sup>2</sup>。因此本文采用(1 920±125.6) Bq/m<sup>2</sup> 作为该区域<sup>137</sup>Cs 的背景值较为可信。

3.2 <sup>137</sup>Cs 在不同土地利用方式下的剖面分布

对分层样中<sup>137</sup>Cs 含量的分析可知,背景值点土壤中<sup>137</sup>Cs 含量随深度的增加呈指数减少的趋势(图 1),马尾松林(包括本地松和外国松)和荒山土壤中<sup>137</sup>Cs 的分布因侵蚀原因而呈现出共同的特点,即表层土壤中<sup>137</sup>Cs 的含量极低,甚至低于仪器检测的下限。而苗圃、桔园和苗圃改造地块中土壤<sup>137</sup>Cs 含量的剖面分布呈现出比较均一的特征(图 2),这与这些地块受人为扰动是分不开的。由于苗圃和经济林地(桔园)也有翻耕的现象,因此在利用<sup>137</sup>Cs 计算土壤侵蚀量时,可将这些地块视为农耕地进行处理。

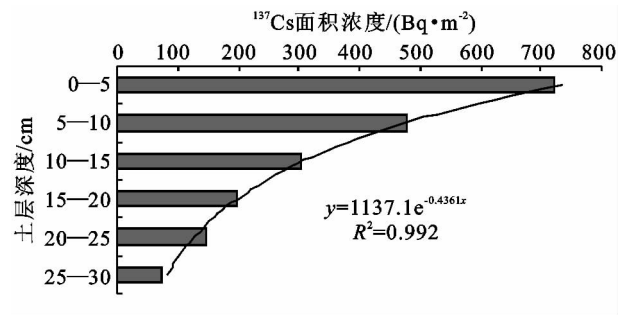


图 1 标准剖面<sup>137</sup>Cs 分布

3.3 不同土地利用管理方式下坡面<sup>137</sup>Cs 含量及侵蚀分异

由表 1 可知,<sup>137</sup>Cs 在不同土地利用与管理方式下、不同部位存在明显的分异特征。<sup>137</sup>Cs 的最大值为

1 029.8 Bq/m<sup>2</sup>,最小值只有 89.4 Bq/m<sup>2</sup>,两者相差 11 倍,变异性高达 91.3%,说明在不同的土地利用方式下,<sup>137</sup>Cs 遭受了不同程度的流失。同样,土壤侵蚀强度也表现出一定的分异,总体而言,土壤侵蚀模数以荒山为最大,其次是本地松林,水土保持比本地松林略低,再次是桔园,桔园改苗圃地和苗圃的土壤侵蚀模数最低。荒山的植被主要以 1 a 或多年生草本及低矮灌木为主,植被覆盖度比较低,平均坡度为 18.5°,因而水土流失程度比较高,而南方红壤区最常见的马尾松林和美国松林(水土保持)下,土壤呈酸性而贫瘠,草本和灌木稀少,因而也成为水土流失相对严重的地区,呈现出“远看青山在,近看水土流”的特殊景观。桔园和苗圃在改造之前与本地松林的地形地貌大体一致,在 20 世纪 80 年代,通过整地,将原有植被去除后将原有坡面修改成梯田并栽种柑橘和苗圃,桔园由于效益不好,又逐渐改为栽植樟树、桂花树等树苗的苗圃。桔园的植被覆盖度也比较低,同时存在翻垦施肥的耕作过程,但土壤流失程度比荒山和松林要低,说明梯田这种土地整理方式可以较好地控制水土流失。

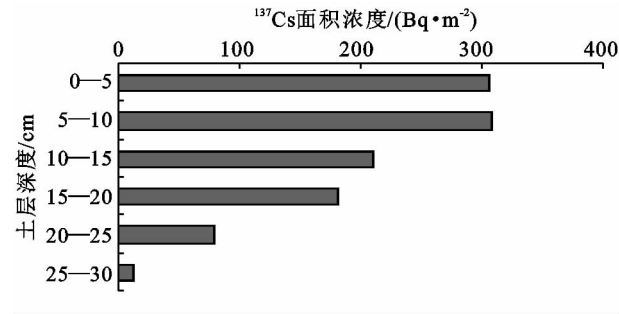


图 2 苗圃土壤剖面<sup>137</sup>Cs 分布

表 1 不同土地利用方式下土壤<sup>137</sup>Cs 含量与侵蚀量

坡面利用类型	坡度	相对位置	植被类型	<sup>137</sup> Cs 强度/(Bq·m <sup>-2</sup> )	土壤年均侵蚀厚度/mm	土壤年均侵蚀模数/(t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
荒山	12.5°	坡顶	多年生草本、小灌木	134.1±52.3	3.9	6825.8
	20°	坡中		98.3±41.6	4.4	7821.7
	18.5°	坡底		153.0±45.7	3.7	6280.7
本地松林	9.5°	坡顶	自然山地,马尾松	476.1±71.2	2.0	3068.3
	15°	坡中		110.2±45.8	4.2	6656.7
	20°	坡底		89.4±55.3	4.5	6058.5
水土保持	20°	坡顶	80 年代外国松	389.2±63.2	2.3	4299.2
	17°	坡中		188.5±48.7	3.4	6557.9
	18°	坡底		299.2±57.3	2.7	4789.8
苗圃	梯土,原坡 10°左右	坡顶	15 a 左右,樟、桂为主	246.0±72.1	2.0	3687.3
		坡中		905.3±59.2	0.7	1523.2
		坡底		217.2±61.6	2.1	3896.5
桔园	梯土(原坡度分别为 11°,16°,18°,13°)	坡顶	15 a 左右	123.4±55.1	2.7	4555.8
		坡中		135.4±52.9	2.9	4755.0
		坡中		313.6±60.2	1.8	3328.3
桔园改苗圃	梯土(原坡度分别为 14°,29°,22.5°)	坡底	3 a,樟树	1028.9±67.3	0.6	1119.4
		坡顶		471.2±59.2	1.4	2325.1
		坡中		156.2±56.8	2.4	3451.9
		坡底		178.0±49.3	2.3	3690.7

3.4 侵蚀条件下土壤理化性状的变化

表 2 表明,本地松林和水保林地的土壤有机质含量并未比其他土地利用方式高,而荒山表现为最低;全氮、全磷和全钾含量以水保林相对较低,而桔园和桔园改苗圃地则相对较高;CEC 含量也以水保林地最低,从土壤颗粒组成分析结果来看,在不同利用管理方式下,土壤质地也有差异。虽然荒山、本地松林、水保林地和桔园改苗圃地土壤均属于壤黏土,但水保林土壤的砂粒高达 44.12%,而粉粒和黏粒含量则相对较低,土壤呈现明显的粗化现象,说明土壤侵蚀引起了细颗

粒和养分的大量流失。桔园与苗圃分别表现出黏粒和粉粒含量相对较高的现象,这与前述这两种土地利用方式下土壤侵蚀相对较小的结果相一致,坡改地能有效地保持土壤细颗粒和土壤养分。南方松林下土壤侵蚀严重,土壤粗化,土壤养分和阳离子含量偏低,土壤呈现出强酸性,这与松林结构简单,林分单一有关,其中以水保林(美国松)表现尤为突出。因此,在红壤丘陵区的荒山和马尾松林地,可以通过植被改造、土地修整等措施来提高植被的盖度和改变坡度大、坡面长等易导致水土流失的地形,提高林地的保水保肥效果。

表 2 不同土地利用方式下土壤部分理化性质

土地利用方式	有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全 N/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全 P/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全 K/ (g·kg <sup>-1</sup> )	CEC/ (cmol·kg <sup>-1</sup> )	砂粒/ %	粉粒/ %	黏粒/ %	土壤质地	年均侵蚀模数/(t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
荒山	5.36	0.66	0.19	10.59	12.31	23.02	37.26	39.73	壤黏土	6976.1
本地松林	6.18	0.58	0.18	9.26	12.17	23.52	31.63	44.85	壤黏土	5261.2
水保林	5.56	0.58	0.17	8.70	9.26	44.12	23.68	32.20	壤黏土	5215.6
苗圃	6.96	0.80	0.40	7.16	11.37	11.21	48.68	39.75	粉砂黏土	3035.7
桔园	9.50	0.94	0.44	9.52	11.92	16.68	37.91	45.47	黏土	3439.6
桔园改苗圃	9.72	0.98	0.43	10.06	13.40	20.52	39.04	40.44	壤黏土	3155.9

4 结论

(1) 不同土地利用方式下土壤中<sup>137</sup>Cs 的剖面分布特征不同。背景值剖面中<sup>137</sup>Cs 的分布呈现出随深度增加而呈指数减少的趋势,荒山、本地松林和水保林土壤剖面中<sup>137</sup>Cs 呈现出与背景值基本一致的变化特征,而桔园、苗圃和桔园改苗圃地土壤剖面中<sup>137</sup>Cs 含量则表现出相对均匀的特征。

(2) 研究区内不同土地利用管理方式下土壤<sup>137</sup>Cs 含量呈现出明显的分异特征,表明这些地块呈现出不同程度的土壤侵蚀,总体上表现为:荒山>本地松林、水保林>桔园>桔园改苗圃地>苗圃,说明在南方地区,单一的油松和马尾松林的水土保持效果可能不如坡改梯后的经济林;而不同地貌部位的侵蚀模数则表现为坡顶相对较小,坡中和坡底则相对较大的特征。

(3) 不同土地利用管理方式下土壤质量退化程度不同。研究区内不同地块土壤侵蚀的分异导致土壤有机质和其它理化性状也呈现出明显的分异,并表现出与侵蚀程度大致相同的特征;说明南方红壤丘陵区因土壤侵蚀导致的土地退化严重。

(4) 南方红壤丘陵区生态环境比较脆弱,不同土地利用管理方式对保持土壤和土壤养分起着不同的作用。研究结果表明,对于坡度较大的南方山地和荒山而言,林种单一及植被覆盖度低而导致的水土流失

和土地退化问题往往比较严重。因而在南方红壤丘陵区小流域内如何合理利用与管理土地,以及如何对马尾松林和荒山进行合理改造,是值得进一步研究的问题。

参考文献:

[1] 张国华,张展羽,王倪进,等. 南方红壤丘陵区不同生态恢复措施对土壤质量的影响[J]. 水利水电科技进展, 2007,27(5):19-22.

[2] 王库,史学正,于东升. 红壤丘陵区不同土地利用方式下的土壤侵蚀特征[J]. 西南农业大学学报:自然科学版, 2006,28(5):697-701.

[3] Kachanoski R G, de Jong E. Predicting the temporal relationship between soil cesium-137 and erosion rate[J]. J. Environ. Qual., 1984,13(2):301-304.

[4] Zhang X, Higgitt D L, Walling D E. A preliminary assessment of the potential for using cesium-137 to estimate rate of soil erosion in the Loess Plateau of China [J]. Hydro. Sci. J., 1990,35(3):267-276.

[5] 濮励杰,赵姚阳,金平华,等. <sup>137</sup>Cs 示踪红壤丘陵区坡地土壤侵蚀的研究:以江西丰城市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2004,16(3):562-567.

[6] 张燕,杨浩,金峰,等. 宜兴茶园土壤侵蚀及生态影响[J]. 土壤学报, 2003,40(6):815-821.

[7] 金平华,濮励杰,王金磊,等. <sup>137</sup>Cs 法用于典型流域土壤侵蚀的初步研究:以太湖流域上游西苕溪流域为例[J]. 自然资源学报, 2004,19(1):47-54.