

黄土崩坡耕地土壤侵蚀与泥沙输移*

文安邦 张信宝

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

张一云 徐家云 白立新

(四川联合大学物理系 成都 610041)

提 要 运用 20 世纪五六十年代大气核试验所产生的人工放射性同位素¹³⁷Cs 为示踪元素,分析了陕西省子长县黄土崩坡耕地¹³⁷Cs 的坡面分布特征,计算出该坡耕地土壤侵蚀模数 6 380—8 890t/[(km)²·a];坡地底部剖面 6 和剖面 14 的土壤堆积速率分别为 280 和 4 230 (t/[(km)²·a]);该坡地剖面线 1 和剖面线 2 方向上的泥沙输移比 0.96.

关键词 黄土崩 坡耕地 土壤侵蚀 泥沙输移 ¹³⁷Cs

¹³⁷Cs 是 20 世纪五六十年代大气核试验产生的,系全球分布的一种人工放射性同位素,1954—1963 年为核尘埃主要产出期。¹³⁷Cs 尘埃随降水降落到地表后,被表层土壤的胶体颗粒牢牢吸附,半衰期约 30a。¹³⁷Cs 在地表中自身化学迁移能力极弱,主要是在土壤颗粒的物理运动中而发生再分布。由此¹³⁷Cs 是一种研究地表土壤侵蚀、泥沙输移和沉积的示踪元素^[1]。

¹³⁷Cs 法研究土壤侵蚀是定性和定量相结合的。前者是根据土壤剖面¹³⁷Cs 总量与未侵蚀区¹³⁷Cs 背景值相比,定性分析土壤侵蚀强弱空间分布;后者是用一些分别含义的参数,建立计算土壤侵蚀量公式,从量的角度考察空间上土壤侵蚀强度差异。

现以陕西省子长县赵家沟流域梁崩坡耕地为例,分析¹³⁷Cs 在坡耕地上的坡面分布特征,计算坡耕地土壤侵蚀模数、泥沙堆积速率和泥沙输移比。

1 研究区概况

赵家沟流域位于陕西省子长县城东南约 4km,是秀延河南岸的一条支沟。地貌以梁崩丘陵沟壑为主,海拔 1 200m,地表被深厚的上更新统马兰黄土所覆盖,土壤以黄绵土为主,占整个流域面积的 94%,处于沙黄土和中黄土的过渡地带。沟谷两岸零星出露三趾马红土,下伏有砂岩,沟壑纵横,地表切割破碎,沟谷切割密度达 5.9km/(km)²。冬季干燥,夏季多雨,年降水量 517mm,集中于 6—9 月。经径流小区观测,对河流输沙量进行推算,该流域土壤侵蚀模数达 14 500—17 500t/[(km)²·a]^[2]。

研究坡耕地位于赵家沟流域沟道东面的梁崩坡中部二道梁上,尚未修过梯田,横坡长

* 国家“八五”科技攻关项目(项目编号:85—926—87—01)之部分研究成果。

野外取样过程中得到陕西省子长县水保局简直书同志大力帮助,深表感谢。

本文收稿日期:1994-12-21。

20m,纵坡长 35m,面积 700m²,坡地上部平均坡度 8°,中部 12°—20°,坡地底部平缓,平均坡度 ≤10°。坡地底部边缘有一地埂,下为陡崖,沟间地、沟谷地以此为界。

2 样品采集和测试方法

取样按网格法布点,横坡每 4m,纵坡每 7m 为一取样点,共取土样 36 个剖面。取样分两种:1. 分层采集,用内径 9.5cm 的取样筒垂直地面打入土层,取出完整土心,按 5cm 间隔加以分割;2. 全样采集,用内径 7.0cm 的取样筒垂直地面打入土层,取出全部土样,装入袋内供测试分析用,共采 53 个土样。另有一取样剖面在该坡地附近的一平坦坟草地(据当地居民讲,至少 50 年来没有耕作过)内,取¹³⁷Cs 背景值样,取样深度 30cm。

样品经风干,称重,研磨后过 2mm 筛预处理,拌匀称取 400g,由四川联合大学物理系测试,用 γ -谱仪测量¹³⁷Cs 含量。谱仪为美国坎培拉公司生产的高纯锗探头和多道分析器组成,重复测量误差 ≤6%,谱仪对¹³⁷Cs 的探测效率 0.005 87。¹³⁷Cs 含量用 661.6keV 的 γ -射线的全峰面积计算,测量时间 3 万。

3 结果与讨论

3.1 ¹³⁷Cs 区域背景值

¹³⁷Cs 背景值取样剖面如前所述。¹³⁷Cs 含量及分布特征如图 1。

由图 1 可见,¹³⁷Cs 含量集中分布在 0—15cm 深处,其中 0—5cm 深处的¹³⁷Cs 含量低于 5—10cm 深处的¹³⁷Cs 含量,这不同于典型的非农耕地,后者的¹³⁷Cs 含量集中分布于 0—5cm 深处,往下则锐减。究其原因,可能是赵家沟流域的取样坟草地受附近农耕地就地起沙沉降,草丛拦截沙尘所致,因此该剖面 0—5cm 深处的¹³⁷Cs 含量不应作为¹³⁷Cs 区域背景值的一部分,应加以扣除。与南部洛川(年降水量 662mm)的¹³⁷Cs 背景值 2 529Bq/m²,北部山西离石羊道沟(年降水量 506mm)的¹³⁷Cs 背景值 2 008Bq/m² 相比,研究区域年降水量 517mm,则赵家沟流域的¹³⁷Cs 区域背景值取 2 270Bq/m² 是合理的。

3.2 ¹³⁷Cs 坡面分布特征

¹³⁷Cs 在坡耕地各取样剖面处的含量如表 1,¹³⁷Cs 面积浓度随坡长的增长而增加。在此仅对剖面线 1(剖面编号 1—6)和剖面线 2(剖面编号 8—14)的¹³⁷Cs 含量分布加以分析(图 2)。

¹³⁷Cs 面积浓度坡地上部少,中部更少,底部高。剖面线 1:坡地上部剖面 1 的¹³⁷Cs 面积浓度为 389.5Bq/m²,坡地中部剖面 4 为 159.1Bq/m²,坡地底部剖面 6 达 2 312.4 Bq/m²,¹³⁷Cs 平均面积浓度为 756.2Bq/m²;剖面线 2:坡地上部剖面 8 的¹³⁷Cs 面积浓度为 293.2Bq/m²,坡地中部剖面 12 为 466.2Bq/m²,坡地底部剖面 14 为 2 867.5Bq/m²,¹³⁷Cs 平均面积浓度为 1 102.3Bq/m²。

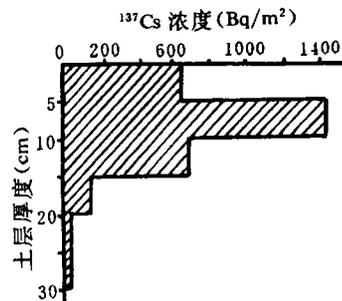


图 1 背景值土壤剖面的¹³⁷Cs 深度分布

Fig. 1 Depth distribution of ¹³⁷Cs content of background profile

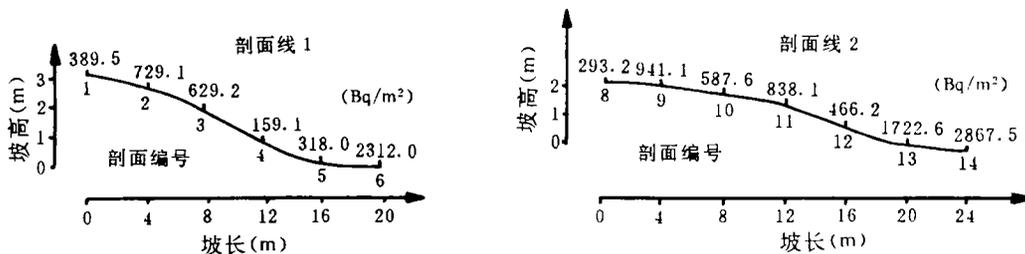


图 2 坡耕地土壤剖面中的¹³⁷Cs 含量分布特征
Fig. 2 ¹³⁷Cs content distribution characteristic of the slope land

表 1 取样剖面¹³⁷Cs 含量
Table 1 ¹³⁷Cs content of soil profile

剖面编号	坡度(°)	¹³⁷ Cs 面积浓度(Bq/m ²)	剖面编号	坡度(°)	¹³⁷ Cs 面积浓度(Bq/m ²)
1	1	389.5	19	15	452.3
2	7	729.5	20	14	951.2
3	13	629.1	21	2	492.4
4	17	159.1	22	2	602.7
5	14	318.0	23	7	612.4
6	10	2312.4	25	20	1470.9
8	1	293.2	26	8	1770.8
9	6	941.1	27	2	793.4
10	10	587.6	28	2	662.6
11	12	838.1	29	5	712.3
12	14	466.2	30	11	1219.1
13	12	1722.6	31	15	2043.3
14	9	2867.5	32	1	750.6
15	1	283.1	33	1	809.8
16	2	766.5	34	2	985.8
17	7	1209.8	35	7	743.5
18	12	1076.0	36	12	589.6

两个剖面线¹³⁷Cs 平均面积浓度均低于当地的¹³⁷Cs 区域背景值(2 270Bq/m²),即:剖面线 1 和剖面线 2 的¹³⁷Cs 平均面积浓度分别为¹³⁷Cs 区域背景值的 33 和 49(%). 这表明该坡在遭一定程度的土壤侵蚀. 坡地中上部¹³⁷Cs 均匀分布在 0—15cm 犁耕层内,坡地底部剖面 14 中¹³⁷Cs 含量的分布超过犁耕层而达 35cm 深处(表 2). 这表明坡地中上部侵蚀、搬运来的土壤,在坡地底部发生部分堆积. 再者剖面 14 中的¹³⁷Cs 面积浓度为 2 867. 5Bq/m²,高于¹³⁷Cs 区域背景值,即为¹³⁷Cs 区域背景值的 126%. 这也证实了坡地底部剖面 14 处土壤堆积是存在的.

3.3 土壤侵蚀量计算

土壤侵蚀量通常通过径流小区观测、

表 2 剖面 14 中¹³⁷Cs 含量深度分布
Table 2 Depth distribution of ¹³⁷Cs content of profile 14

深度(cm)	¹³⁷ Cs 含量	
	a	b
0—5	7. 085	446. 4
5—10	7. 413	415. 2
10—15	7. 949	483. 8
15—20	10. 020	651. 3
20—25	11. 346	698. 6
25—30	2. 611	160. 8
30—35	0. 174	11. 4
35—40	0	0
40—45	0	0
45—50	0	0
50—55	0	0
55—60	0	0
合计		2867. 5

a 为风干土的¹³⁷Cs 含量(Bq/kg);
b 为水平投影面积上的土壤¹³⁷Cs 面积浓度(Bq/m²).

河流输沙量推算或土壤通用流失方程来获得. 近 20 年来, ^{137}Cs 法研究土壤侵蚀量取得了一定的成就, 已建立 10 余个计算农耕地土壤侵蚀量的经验公式和理论公式^[1]. 黄土高原梁峁坡耕地土壤侵蚀量用理论公式来获得, 计算值与实际值基本一致^[3]. 假定: 1. 每年流失含 ^{137}Cs 的犁耕层土壤为下次犁耕翻起不含 ^{137}Cs 的底上土壤所补偿; 2. 每年侵蚀速率一致; 3. 收获农作物和施肥对土壤 ^{137}Cs 含量的影响可略而不计, 则土壤剖面的 ^{137}Cs 总量 X 、 ^{137}Cs 区域背景值 Y_R 、犁耕深度 H 和年侵蚀厚度 ΔH 之间的关系为

$$X = Y_R [1 - (\Delta H/H)]^{N-1963}, \quad (1)$$

式中 N 为取样年份. 用式(1)求得了剖面线 1、剖面线 2 上各取样剖面处的土壤侵蚀模数(表 3).

表 3 剖面线 1、剖面线 2 上各剖面处土壤侵蚀模数($\text{t}/[(\text{km})^2 \cdot \text{a}]$)¹⁾

Table 3 Soil erosion modulus of sampling spots of profile line 1 and profile line 2

剖面编号	1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	13
土壤侵蚀模数	9410	6130	6910	11560	10460	10880	4770	7270	5390	8480	1510

1) 犁耕深度 H 为 15cm, 土壤干容重为 $1.1\text{g}/(\text{cm}^3)$.

由表 3 可见, 土壤侵蚀模数是非单一流水侵蚀的结果, 而是径流侵蚀和犁耕剥蚀共同作用的结果. 犁耕作用同样是农耕地土壤运移的重要营力^[4]. 径流侵蚀量随坡长的增长而增大; 由图 2 可见, 侵蚀量最大的部位不是在坡地底部, 而是在坡地中上部. 这可能是因为: 1. 坡地顺坡从上部至底部坡度不均匀, 与径流小区观测的均匀坡度不同, 坡地凹凸不平的微地表形态在径流过程中, 改变了径流的大小和方向, 导致径流在自然坡面上的差异侵蚀; 2. 犁耕作用对农耕地土壤运移有影响, 但作用强度有待进一步弄清.

剖面线 1 和剖面线 2 的土壤平均侵蚀模数分别为 8 890 和 6 380($\text{t}/[(\text{km})^2 \cdot \text{a}]$), 这与剖面线 1(平均坡度 12°)、剖面线 2(平均坡度 10°)的平均坡度大小是相吻合的.

3.4 土壤堆积速率推算

有了土壤堆积量, 即土壤堆积厚度, 就可推算出土壤堆积速率. ^{137}Cs 法推算土壤堆积厚度有两种.

1. 根据土壤剖面 ^{137}Cs 全量, 计算土壤堆积厚度(m)

$$H = (X_1 - Y_R)/X_2, \quad (2)$$

式中 X_1 为土壤堆积剖面的 ^{137}Cs 面积浓度(Bq/m^2); Y_R 为 ^{137}Cs 区域背景值(Bq/m^2); X_2 为土壤堆积区的 ^{137}Cs 体积浓度(Bq/m^3).

2. 据土壤剖面 ^{137}Cs 分布的有效深度, ^{137}Cs 分布深度与犁耕深度之差(即 1954 年 ^{137}Cs 开始沉降以来土壤堆积区堆积厚度).

用上述两种方式, 求得的剖面线 1 和剖面线 2 坡地底部土壤堆积厚度分别为 0.01 和 0.15(m), 土壤堆积速率分别为 280 和 4 230($\text{t}/[(\text{km})^2 \cdot \text{a}]$).

3.5 泥沙输移比

泥沙输移比是一个广泛的概念, 常用来指沟道或河流的某一断面处的输沙量与流域内侵蚀量之比, 反映沟道或河流的输沙能力. 目前黄土高原梁峁坡耕地的泥沙输移比研究结果, 尚未见过报道.

^{137}Cs 法研究农耕地泥沙输移比是根据农耕地 ^{137}Cs 流失量和 ^{137}Cs 堆积量,定义为:一定的时间和空间范围内,土壤中的 ^{137}Cs 流失量与 ^{137}Cs 流失量、 ^{137}Cs 堆积量总和之比,即

$$SR = A/(A + B), \quad (3)$$

式中 SR 为某一时期内农耕地泥沙输移比; A 为某一时期内 ^{137}Cs 流失量; B 为某一时期内土壤堆积区土壤剖面的 ^{137}Cs 堆积量。

某一时期内 ^{137}Cs 流失量 A 即 ^{137}Cs 区域背景值与现今土壤剖面 ^{137}Cs 含量之差,剖面线 1 各剖面的 ^{137}Cs 流失量之和为 $8\ 163.8\text{Bq}/\text{m}^2$,剖面线 2 各剖面的 ^{137}Cs 流失量之和为 $7\ 484.1\text{Bq}/\text{m}^2$;某一时期内 ^{137}Cs 堆积量 B 为土壤堆积区土壤剖面的 ^{137}Cs 总量与 ^{137}Cs 区域背景值之差,剖面线 1、剖面线 2 土壤堆积区的 ^{137}Cs 堆积量分别为 42.4 和 $596.5(\text{Bq}/\text{m}^2)$,于是用式(3)求得的剖面线 1 和剖面线 2 方向上的泥沙输移比分别为 0.995 和 0.926 ,平均泥沙输移比为 0.96 。

综上所述可归纳如下三点。

1. 子长县赵家沟流域黄土崩坡耕地土壤平均侵蚀模数 $6\ 380\text{—}8\ 890\text{t}/[(\text{km})^2 \cdot \text{a}]$,为已报道的该区土壤侵蚀模数($14\ 500\text{—}17\ 500\text{t}/[(\text{km})^2 \cdot \text{a}]$)的一半。
2. 这一坡地中上部侵蚀强烈,土壤侵蚀模数达 $6\ 000\text{—}11\ 000\text{t}/[(\text{km})^2 \cdot \text{a}]$,坡地底部有不同程度的土壤堆积,剖面线 1、剖面线 2 底部的土壤堆积速率分别为 280 和 $4\ 230(\text{t}/[(\text{km})^2 \cdot \text{a}])$ 。
3. 该坡地泥沙输移比为 0.96 。

参 考 文 献

- [1] Walling D E, Quine T A. Use of Caesium-137 as a Tracer of Erosion and Sedimentation, Handbook for the Application of the Caesium-137 Technique. UK Overseas Development Administration Research Scheme R4579. Department of Geography, University of Exeter, 1993. 15—34
- [2] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区综合治理开发研究·陕西省子长县综合治理与经济发展战略规划. 北京:科学出版社,1991. 6—38.
- [3] 张信宝,李少龙,王成华等. ^{137}Cs 法测算梁崩坡农耕地土壤侵蚀量的初探. 水土保持通报,1988,8(5),18—22.
- [4] 张信宝,李少龙,Quine T A 等. 犁耕作用对 ^{137}Cs 法测算农耕地土壤侵蚀量的影响. 科学通报,1993,38(22): 2072—2076.

SOIL EROSION AND SEDIMENT TRANSPORTATION ON THE LOESS HILL AND SLOPE LAND

Wen Anbang Zhang Xinbao

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences*
& *Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041*)

Zhang Yiyun Xu Jiayun Bei Lixin

(*Physics Department, Sichuan United University Chengdu 610041*)

Abstract

^{137}Cs —an artificial radioactive isotope which is resulted from weapons testing mainly in 1950s and 1960s was used as a tracer in soil erosion and sediment transportation. The soil erosion and sediment transportation of the loess hill (round loess mound) and slope land are discussed, as well as ^{137}Cs distribution characteristic on the loess hill and slope land is analysed. Moreover soil erosion modulus of the loess hill and slope land is calculated, simultaneously sediment transportation characteristic and ratios of the loess hill and slope land are analysed. The main results are as follows:

1. The regional background value of ^{137}Cs is $2\ 270\text{Bq}/\text{m}^2$ from content and depth distribution of ^{137}Cs of background profile.
2. ^{137}Cs content is low on the middle—upper sectors of the slope land, and high on the bottom of the slope land, it indicated that intense soil erosion takes place in the middle—upper sectors of the slope land and a part of soil deposited on the bottom of the slope land.
3. The soil erosion modulus of loess hill and slope land are $1\ 510\text{—}11\ 560\ \text{t}/[(\text{km})^2 \cdot \text{a}]$, the average soil erosion modulus of profile line 1 and profile line 2 are respectively $8\ 890$ and $6\ 380(\text{t}/[(\text{km})^2 \cdot \text{a}])$, the value is a half of the reported soil erosion modulus that ranged $14\ 500\text{—}17\ 500(\text{t}/[(\text{km})^2 \cdot \text{a}])$. The soil depositional rates of profile 6 and profile 14 are respectively 280 and $4\ 230(\text{t}/[(\text{km})^2 \cdot \text{a}])$ on the bottom of slope land.
4. The sediment transportation ratio of the slope land is 0.96 .

Key words loess hill, slope land, soil erosion, sediment transportation, ^{137}Cs