

^{137}Cs 法测算梁峁坡农耕地土壤 侵蚀量的初探

张信宝 李少龙 王成华 谭万沛

(中国科学院成都山地灾害和环境研究所)

赵庆昌 张一云 严美琼 刘亚伦 蒋锦江

(四川大学物理系)

提 要

本文介绍了 ^{137}Cs 法测算农耕地土壤侵蚀量的基本原理和方法。梁峁坡农耕地和梯田5个土壤剖面的 ^{137}Cs 含量的测定结果表明,土壤剖面的 ^{137}Cs 总量很好地表征了农耕地的侵蚀程度。根据卡钱诺斯基和奎因(Kachanoski and Quine)1987年分别提出的曲线和本文提出的公式求得的侵蚀模数值和实测资料分析值基本吻合。

原子弹爆炸产生的放射性尘埃 ^{137}Cs 降落到地表后,被表层土壤的胶体颗粒牢固地吸附。 ^{137}Cs 以后的任何运动,主要结合土壤颗粒的物理运动^[1]。1956—1965年是核尘埃的主要产出期,其中以1963—1964年浓度最大。1970年以后产出的核尘埃的量极微^[2]。 ^{137}Cs 的半衰期为30年,是研究土壤侵蚀、泥砂运移的一种较好的人工同位素法。国外六十年代已开始用 ^{137}Cs 法测算土壤侵蚀量的研究,取得了良好的效果,被认为是一种“非常有保证”的方法^{[3][4]}。

农耕地里, ^{137}Cs 基本上均匀分布于犁耕层深度内, ^{137}Cs 随着耕作土的流失而流失。流失的耕作土为每年翻耕起的不含 ^{137}Cs 的底土所补偿;耕作土土壤剖面的 ^{137}Cs 总量有所降低。根据土壤剖面的 ^{137}Cs 总量可以推算出农耕地土壤的流失量。

黄土高原丘陵沟壑区的梁峁坡农耕地的侵蚀以面蚀和细沟侵蚀为主,主要发生在15—25厘米的耕作层内,黄土的土壤又非常均一。这些对 ^{137}Cs 法测算土壤侵蚀量是非常适宜的。

1987年,我们在山西省离石县山西省水土保持研究所的未治理对比试验沟——羊道沟的梁峁坡农耕地和邻近的梯田内,采集了5个土壤剖面,共35个土样,进行 ^{137}Cs 含量的测定。本文给出了测定结果,并根据土壤剖面的 ^{137}Cs 总量,推算了梁峁坡农耕地的土壤侵蚀量。

一、样品采集

羊道沟位于东经 $111^{\circ}09'$,北纬 $37^{\circ}33'$,是黄土高原丘陵沟壑区的一个典型小流域。流域面积0.206平方公里,平均海拔1,000米。以沟沿线为界,该流域可分为梁峁坡和沟坡两个地貌单元,两者面积相近。沟沿线以上的梁峁坡坡度较缓, 0° — 30° ,地面物质组成为晚更新世马兰黄土。梁峁坡中上部(0° — 20°)坡面均整,下部(20° — 30°)坡面不均整,凹凸形坡明显。该流域的梁峁坡地全为顺坡耕作的农田,1987年前无梯田工程。主要农作物为玉米、谷子、马铃薯

薯。

当地年平均降水量505.7毫米,汛期(5—9月)降雨量占年降水量的80.6%。7—9月梁峁坡农耕地含水量较高,暴雨时易产流,引起坡面的面蚀和细沟侵蚀。1963—1968年,山西省水土保持研究所在该沟梁峁坡上设有径流试验场,进行了土壤侵蚀要素的观测,积累了丰富的资料。据测定,梁峁坡坡面每年产流1—8次不等。年平均侵蚀模数5,960吨/平方公里。

梁峁坡农耕地的4个土壤剖面,取于一个从峁顶到沟沿的连续坡面上。取样处的地面坡度分别为 0° 、 10° 、 20° 和 30° (图1)。剖面I位于峁顶,剖面II、III位于梁峁坡中上部,剖面IV位于梁峁坡下部的凸形坡上。

另一个土壤剖面取之于距该沟约1公里的梯田。该梯田为水土保持研究所1958年修建,质量很好,现为菜地,施用农家肥较多。

取样用内径为9.5厘米的取样筒垂直地面打入土层,取出完整的土芯。然后按5厘米间隔分土芯,装入土样袋,带回室内供测试用。取样深度35厘米,每个剖面7个土样。

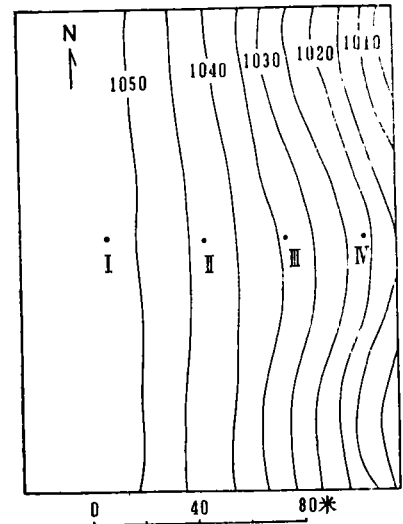


图1. 取样区地形略图

二、测试方法

土样风干后过筛(孔径1.0毫米),剔去草根和大颗粒,供测试用。

测试采用的是美国坎培拉公司生产的4096多道分析器与锗(锂)Ge(Li)探测器组成的 γ 谱仪,其分辨率为1.9千电子伏(keV)(^{60}Co , 1.33keV),峰康比为50:1,长期稳定性好(在一个月的测量时间内,道漂小于1道),本底较低(^{137}Cs 峰面积内的本底为1.23cpm),完全能满足测试要求。

^{137}Cs 的含量是根据661.6keV γ 射线的全峰面积求得,每个样品的重量为380克左右,测量时间为30,000秒。

三、结果与讨论

5个土壤剖面的 ^{137}Cs 含量测试结果见表1。各剖面的 ^{137}Cs 基本上均匀地分布在15—25厘米的犁耕层深度内。剖面II、III、IV含 ^{137}Cs 的土壤厚度较小,显然是由于坡地的犁耕层深度较浅。梯田30厘米深度以下出现的 ^{137}Cs 表明,1958年修梯田时,当时的地面已遭受了核污染。

峁顶农耕地和梯田的 ^{137}Cs 总量很高,分别为 $2,008.7\text{Bq/m}^2$ 和 $2,291.4\text{Bq/m}^2$ 。这表明了峁顶和梯田的侵蚀量轻微。考虑到梯田施用了较多的农家肥,可能带入部分 ^{137}Cs 。我们取峁顶的 $2,008.7\text{Bq/m}^2$ 为该区土壤的 ^{137}Cs 背景值(未侵蚀土壤剖面的 ^{137}Cs 总量)。

梁峁坡农耕地剖面I、II、III的 ^{137}Cs 总量依次减少。这很好地说明了随着坡长和坡度的加大,侵蚀加剧,这和实测的侵蚀模数的变化相符(表2)。

位于梁峁坡下部的剖面IV的 ^{137}Cs 含量,大于位于梁峁坡中部的剖面III,和综合径流场实测的梁峁坡下部最大的侵蚀模数不相符合。这和侵蚀受微地貌影响有关。剖面IV位于梁峁坡下部的凸形坡上,该处的侵蚀基本上不受上方坡面产生的径流的影响;而综合径流场的梁峁坡下部是一个

表1

5个土壤剖面的¹³⁷Cs含量·(Bq/m²)

深度 (厘米)	羊道沟梁崩坡农耕地				水土保持所梯田
	I (0°)	II (10°)	III (20°)	IV (30°)	
0—5	358.2±32.1	350.1±32.1	245.9±30.2	326.0±36.1	514.4±47.0
5—10	516.2±35.7	365.4±35.8	282.9±33.5	325.9±5.9	415.1±33.0
10—15	397.3±32.6	420.5±37.8	213.4±31.7	362.4±36.5	373.8±32.6
15—20	496.3±40.7	211.1±30.5	0	91.5±12.3	527.3±38.2
20—25	241.0±30.2	0	0	0	375.6±32.3
25—30	0	0	0	0	0
30—35	0	0	0	0	85.2±31.3
Σ	2008.7±171.3	1347.1±136.2	742.0±95.4	1105.8±140.8	229.1±214.4

·每平方米水平投影面积上土壤的¹³⁷Cs含量单位Bq/m²。

表2

羊道沟综合径流场实测梁崩坡农耕地侵蚀模数值 (1963—1968年)

地貌单元	坡度	侵蚀模数 (吨/平方公里)
梁崩坡顶部	0°—5°	368
梁崩坡中部	5°—20°	2,820
梁崩坡下部	20°—30°	14,700

凹形坡, 该处的侵蚀受上方坡面产生的径流的强烈影响。

四、侵蚀量的推算

1974年后, 国外一些学者相继提出了根据¹³⁷Cs流失量推算土壤侵蚀量的一些公式和曲线。美国里奇 (Ritchie) [3] 最早于1974年提出的计算土壤侵蚀量的公式为:

$$Y = 4.04X^{0.63} \quad (1)$$

式中: Y——¹³⁷Cs流失量; nCi/m² (nCi为毫微居里, 1 nCi = 24.55Bq);

X——年土壤流失量 (吨/公顷)。

八十年代, 加拿大的卡钱诺斯基 (Kachanoski), 澳大利亚的坎贝尔 (Campbell) 和英国的奎因 (Quine) 相继给出了¹³⁷Cs相对流失量和侵蚀模数的相关曲线 [6] (图2)。

1987年, 沃林 (Walling) 讨论了以上的公式和曲线。他们认为, 由于1970年以后, 核尘埃降落量极微; 里奇 (Ritchie) 的公式已不适用八十年代; 坎贝尔 (Campbell) 根据南半球资料得出的曲线和北半球情况差别较大; 卡钱诺斯基和奎因 (Kachanoski and Quine) 1987年分别提出的曲线和英国的资料吻合较好。

黄土土壤质地均一, 机械组成较细, 以粉砂为主, 大于0.25毫米的颗粒含量一般小于1%, 侵蚀时无分选。这对于根据农耕地¹³⁷Cs流失量的物理模式, 建立土壤剖面的¹³⁷Cs总量和年土壤流失厚度的相关公式是非常有利的。假定农耕地每年土壤流失的厚度相等, 每年流失的耕作土为翻耕起的不含¹³⁷Cs的底土所补偿。1970年以后无¹³⁷Cs尘埃降落, 则1987年农耕地土壤剖面的¹³⁷Cs总量和年土壤流失厚度的关系为:

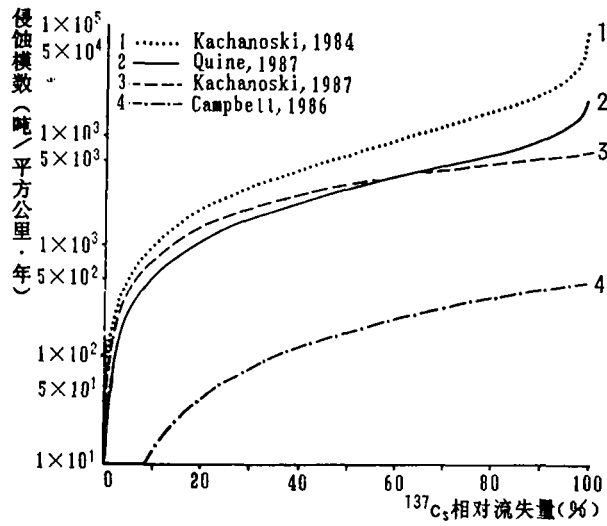


图2 ^{137}Cs 相对流失量和侵蚀模数的相关曲线

$$X_{87} = X_{70} \cdot \left(1 - \frac{\Delta H}{H}\right)^{16} \quad (2)$$

式中： X_{87} ——1987年土壤剖面的 ^{137}Cs 总量； X_{70} ——1970年时土壤剖面的 ^{137}Cs 总量； ΔH ——耕作土的年流失厚度； H ——犁耕层深度。

1956—1970年期间，对侵蚀农耕地来说， ^{137}Cs 既有加入，又有流失，因此 X_{70} 小于 ^{137}Cs 的背景值(X_0)。取这个期间的一半7年为 ^{137}Cs 流失影响期，则：

$$X_{70} = X_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta H}{H}\right)^7 \quad (3)$$

式中： X_0 —— ^{137}Cs 的背景值。将式(3)代入式(2)，

$$X_{87} = X_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta H}{H}\right)^{23} \quad (4)$$

利用以上公式和曲线，根据土壤剖面的 ^{137}Cs 总量资料求得的侵蚀模数值，和根据水土保持研究所径流小区实测资料分析出的梁峁坡农耕地各剖面处的侵蚀模数值列于表3。

由表3可见，曲线(2)和曲线(3)的值和公式(4)的值与实测资料分析值基本吻合。当然，这些曲线和公式是否适用于黄土地区农耕地土壤侵蚀量的计算，尚需进一步的验证。

表3 梁峁农耕地各剖面处的年侵蚀模数 (吨/平方公里)

剖面号	公式(1)	曲线(1)	曲线(2)	曲线(3)	曲线(4)	公式(4)*	实测资料分析值
I	22,326	4,000	2,500	2,000	100	2,954	2,000
II	70,959	10,000	5,000	5,000	240	6,981	6,200
IV	38,189	6,000	3,000	3,500	160	4,231	5,750

* 计算时，取犁耕层厚度 $H=15$ 厘米，土壤干容重 $\gamma=1.1$ 克/立方厘米。

五、结 语

梁峁坡农耕地和梯田共 5 个土壤剖面 ^{137}Cs 含量的测定表明,农耕地土壤剖面的 ^{137}Cs 总量,可以很好地表征土壤的侵蚀程度。

1、原子弹爆炸产生的放射性尘埃 ^{137}Cs 降落到地表后,被表层土壤的胶体颗粒强烈吸附。梁峁坡农耕地由于犁耕作用, ^{137}Cs 基本上均匀分布于15—25厘米深的犁耕层内。犁耕层以下的土层不含 ^{137}Cs ,说明 ^{137}Cs 没有随土壤水分的运动向下迁移。

2、离石羊道沟峁顶平地土壤(剖面 I)的 ^{137}Cs 总量最高,2,008.7Bq/m²,可代表该区土壤的 ^{137}Cs 背景值。梁峁坡上部和中部土壤(剖面 II、III)的 ^{137}Cs 总量逐渐减少,说明梁峁坡农耕地的侵蚀随着坡长的增长和坡度的加大而渐趋强烈。梁峁坡下部凸形坡土壤(剖面 IV)的 ^{137}Cs 总量高于中部,说明微地貌对梁峁坡农耕地的侵蚀有很大影响。

3、黄土土壤质地均一,组成较细,侵蚀无分选性,是 ^{137}Cs 法测算土壤侵蚀强度的一种理想的土壤。根据我们建立的公式及卡钱诺斯基和奎因分别给出的曲线,求得的剖面 II、剖面 III和剖面 IV处的土壤侵蚀模数和实测分析值基本吻合。

4、 ^{137}Cs 法是研究土壤侵蚀的一种新技术,具有快速、简便、可靠的特点,有着广阔的应用前景,如测算非农耕地的土壤侵蚀量,查明河流泥沙的来源,评价水土保持措施的减沙效益,研究河流输沙量变化的原因,测定水库、湖泊的沉积速率等。

国家自然科学基金和西安黄土室基金资助项目。

参 考 文 献

- [1] Pogowski, A.S. and Tamura, T.: Health Phys. 13 (1970), 467-477.
- [2] Menzel, R.G., Jung, P.K., Ryu, K.S. and Um, K.T.: Appl. Radiat. Isot, 33 (1987), 451-454.
- [3] Ritchie, J.C., Spraberry, J. A. and Mchenry, J. R.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 35 (1974), 137-139.
- [4] Mchenry, T.R. and Ritchie, J.C.: Erosion and solid matter transport in inland water, IAHS Publication 122 (1977), 6-33.
- [5] Walling, D.E. and Quine, T.A.: Agriculture and the environment Special Topic Research Project Report, GST 02 196 (Age), Natural Environment Research Council, UK, 1987, pp14.

(continued on p29)

