

用¹³⁷Cs 法研究黄土区耕垦历史不同的坡面土壤侵蚀强度分异

王晓燕¹, 田均良²

(1. 长沙理工大学 建筑系, 湖南 长沙 410076; 2. 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 以核素示踪技术为研究手段, 以空间序列代替时间序列和以线控面为基本研究方法, 在提出坡面平均坡度和坡面核素平均面积浓度计算方法的基础上, 研究了黄土丘陵区典型小流域——延安燕沟流域不同开垦历史的农耕地坡面土壤侵蚀强度分异。通过不同开垦历史的坡面侵蚀模数与开垦时间、坡度、坡长的偏相关分析, 结果表明, 侵蚀模数与开垦时间的相关程度最大, 其次是坡度, 与坡长的相关性不明显。坡面土壤侵蚀强度随开垦年限的增长呈增加趋势, 说明人为破坏植被、不合理开垦导致的人为加速侵蚀是近代黄土高原水土流失的主要原因。

关键词: 垦耕历史; 坡耕地; 侵蚀强度; ¹³⁷Cs 示踪法; 黄土高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)01-0001-04

中图分类号: S157.1

Characteristics of Soil Erosion Intensity on Cultivated Hillslopes of Different Cultivation Ages in Loess Plateau Determined Using ¹³⁷Cs as a Tracer

WANG Xiaoyan¹, TIAN Junliang²

(1. Department of Architecture, Changsha Science and Technology University,

Changsha 410076, Hunan Province, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation,

Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling District 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: Yangou watershed in the Loess Plateau was selected as the study site to determine the characteristics of soil erosion intensity on cultivated hillslopes of different cultivation ages. The radionuclide tracer technique was employed as a new method and a method was developed to calculate average area concentrations of radionuclide and soil erosion intensity of whole hillslopes by using the average gradients of hillslopes and average area concentrations of radionuclide on hillslopes, with a weighting for slope length. The results of partial correlation analyses among soil erosion modulus, cultivation age, slope gradient and slope length show that the correlation coefficient between erosion modulus and cultivation age is high, higher than that between erosion modulus and slope gradient. The relationship between erosion modulus and slope length was not significant. The conclusion is that soil erosion intensity on hillslopes becomes more severe with increasing cultivation age, mainly due to the gradually effect of the destruction of forestland and grassland.

Keywords: cultivation ages, cultivation hillslopes; erosion intensity; ¹³⁷Cs tracer; Loess Plateau

黄土高原土壤侵蚀严重, 特别是因近几十年来, 人为破坏植被非常严重, 土壤侵蚀加剧。林地破坏、耕垦等人为加速侵蚀是黄土高原土壤侵蚀加剧的主要原因。坡耕地是黄土高原主要的侵蚀产沙区之一。研究不同耕垦历史的坡耕地土壤侵蚀特征, 对于评价人为加速侵蚀和黄土高原生态环境建设具有重要的意义。以往关于这方面的研究较少, 唐克丽^[1]、郑粉莉^[2-3]等通过定位观测和人为干预(小区布设)等手段研究了不同开垦年限农耕地土壤侵蚀强度的变化

特征, 对人为加速侵蚀做了定量化的评价。但该研究基于人为故意破坏植被的基础上, 且需要连续定位观测, 观测时间从小区布设时开始, 因而不能研究过去时期土壤侵蚀变化状况。在对土壤扰动程度低的情况下, 评价过去几十年来农耕地土壤侵蚀强度的变化, 需要一种新的方法来解决。

¹³⁷Cs 示踪土壤侵蚀的研究已经有 30 a 多的历史, 它主要被应用于坡面土壤空间分布特征、流域泥沙来源等方面的研究^[4-7]。¹³⁷Cs 的半衰期为 30.2 a,

其沉降主要发生在 1956—1964 年核试验较多的时期。本研究在充分调查土地利用历史和对不同时期航片判读的基础上,以延安燕沟流域不同时期开垦的坡耕地为研究对象,利用 ^{137}Cs 示踪法和以空间序列代替时间序列的方法,研究不同耕垦历史的农耕地土壤侵蚀强度变化,这不仅拓宽了 ^{137}Cs 示踪法的应用范围,对量化评价黄土高原人为加速侵蚀的研究也是一个有益的补充,且能弥补传统方法上的不足。

1 研究区概况

燕沟流域位于陕西省延安市南 3 km 处,地理位置为东经 $109^{\circ}20'00''$ — $109^{\circ}35'00''$,北纬 $36^{\circ}20'00''$ — $36^{\circ}32'00''$,燕沟流域属于黄土高原丘陵沟壑区第④副区。燕沟流域主沟长 8.6 km,流域面积为 46.88 km^2 ,流域大致呈东南—西北走向,地形破碎,地面割裂严重,坡陡沟深。海拔高度为 986~1425 m,沟壑密度为 4.8 km/km^2 ,主沟纵比降为 2.41‰。燕沟流域处于暖温带半湿润气候向半干旱气候过渡带。按照陕西省延安市降水资料统计,延安市多年平均降水量为 536.9 mm,燕沟流域在 1997—2000 年的平均值为 446.4 mm,小于延安市近 50 a 来的多年平均降水量,可能与最近几年来连续气候干旱有关。延安市年平均气温为 9.8°C ,极端最高气温为 39.7°C ,极端最低气温为 -25.4°C ; $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的活动积温为 3837°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的有效积温 3268°C ;无霜期为 170 d,平均日照时数为 2427 h。燕沟流域内成土母质为黄土,土壤以黄绵土为主,约占 90% 以上。燕沟流域内地带性原始植被大多破坏殆尽,目前零星残存天然次生林覆盖率不足 10%;由于过度放牧,天然草地严重退化。1997 年,即在燕沟流域全面综合治理前,林、果植被面积为流域面积的 23.8%。1997 年至今,在高速、高效、高强度的综合治理下,林、果植被面积占流域总面积的 54.8%。

根据不同时期的航片资料和野外实地调查资料,燕沟流域农耕地开垦的先后顺序不一样。从空间上来说,非农地被开垦为农地的一般规律是:以居民点为中心,由近及远;就某一个梁峁而言,先梁峁顶后梁峁坡,再至坡度较缓的谷坡;按坡向来说,先开垦阳坡、半阳坡,再开垦半阴坡和阴坡。从时间序列上来说,燕沟流域在各个时期均有垦荒的情况,但坡地开垦主要发生在“大生产”时期,即 20 世纪 30—40 年代。另外开垦较多的是 20 世纪 50 年代末(“大跃进”时期),70 年代末 80 年代初期实行土地承包制后,又有部分荒坡被开垦。燕沟不同时期的坡耕地面积见表 1。

表 1 燕沟流域不同时期坡耕地面积 hm^2

年份	耕地面积	占流域总面积/ %
2000	12.07	0.26
1997	1617.67	34.51
1975	1412.75	30.14

2 研究方法

2.1 采样方法

由于选取流域面积大,用网格法详细采集坡面土样的方法难以实施,因而本研究采用以线控面的方法研究坡面土壤侵蚀强度。在进行坡面采样时,按坡面的走向,沿径流线(以坡面径流线走向代表整个坡面侵蚀变化)由分水岭至坡脚按照一定的间隔取 3~6 个样点。用内径 9.5 cm 的土钻垂直打入坡面,采样深度一般为 30 cm,在坡脚和其它可能会发生沉积的地点,采样至 40 cm。用罗盘测定坡度,用卷尺量取样地的坡长,确定样点位置,并对样地位置及周围的景观状况进行描述记录,并在流域内选取了 5 个背景值样点进行采样。

2.2 ^{137}Cs 样品的处理与测量

土壤样品采回后,自然风干,经机械压碎,剔除植物根系和石块,使样品过 1 mm 孔径的筛。 ^{137}Cs 具有放射性,利用其特征能量 661.6 keV 处 γ 射线能谱峰可以计算样品中核素的比活度。分析仪器为美国 PerkinElmer 公司生产的核仪器配置而成的 γ 谱分析系统,其中探测器为 Ortec GMX50 型高纯锗探测器,配以 Ortec919 型谱控制器和 DSPec511 型数字化谱仪。测量样品置于由 110 mm 厚老铅、2 mm 厚铜板组成的低本底铅井中。数据分析通过 PerkinElmer 公司的 GammaVision3.2 核数据分析软件处理,探测器对 ^{60}Co 的 1.33 MeV 的 γ 射线能量分辨率是 2.17 keV,峰康比为 59.29 \square 1。仪器重复测量的误差为 2.8% ($m=10$)。并具有很好的稳定性(道漂小于 1 道/月)和较低的本底。 ^{137}Cs 标准源由中国原子能科学研究院提供,样品测量时间均为 8 h。

2.3 ^{137}Cs 示踪农耕地土壤侵蚀侵蚀速率模型

2.3.1 ^{137}Cs 示踪稳定农耕地侵蚀速率模型 本文选用 Zhang X. 等^[8]的农耕地 ^{137}Cs 模型作为稳定农耕地侵蚀速率估算的 ^{137}Cs 示踪模型,其表达式为:

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

式中: X —— ^{137}Cs 的面积浓度 (Bq/m^2); X_0 —— ^{137}Cs 本底值 (Bq/m^2); Δh —— 年土壤流失厚度 (cm); H —— 犁耕层厚度 (cm); N —— 取样年份。

该模型将 ^{137}Cs 沉降的时间模式处理为 ^{137}Cs 沉降均发生在 1963 年,从而使模型大大简化,应用非常方

便。据周维芝^[9]的研究证明, 该模型与江忠善的小区资料回归值差异较小。

2.3.2 1970 年以后开垦的农耕地侵蚀速率¹³⁷Cs 计算模型的建立 1970 年以后开垦的农耕地侵蚀速率不能用上述模型计算的原因是, 上述模型计算的是自 1954 年(土壤中首次监测到有¹³⁷Cs 的年份)¹³⁷Cs 大量沉降以来的平均侵蚀速率, 而农耕地的侵蚀速率肯定比其在被开垦之前要大, 用这类模型计算 1970 年以后开垦的农耕地的侵蚀速率时, 必然会掩盖农耕地自开垦以来的真实侵蚀状况。因此, 我们在研究这类农耕地的侵蚀速率时, 首先必须确定这类地的¹³⁷Cs 参照值, 在某农耕地地块上进行采样时, 选取与其邻近的坡度相近的未扰动地(可以是林地、草地或灌丛地, 但必须与农耕地未开垦之前的植被类型相同)作为该农耕地背景值的参照样地。

$$C = C_0(1 - \Delta h/H)^n \quad (2)$$

式中: C —— 研究区¹³⁷Cs 的面积浓度(Bq/m²); C_0 ——¹³⁷Cs 背景值(Bq/m²); Δh —— 年土壤流失厚度(cm); H —— 犁耕层厚度(cm); n —— 坡耕地开垦年限(a)。

3 结果与讨论

3.1 农耕地坡面¹³⁷Cs 平均面积浓度的计算

由于坡面的微地貌起伏明显, 各样点的坡度在变化, 因而为讨论不同的坡面¹³⁷Cs 的分布特征, 本研究中提出了坡面平均坡度(S)的概念。其目的是将坡度变化的自然坡面概化为坡度单一的直型坡, 其坡度值用坡长加权法求得。即根据统计样点处的坡度(S_i)和样点距分水岭的距离(L_i)计算得到 S , 其计算式可以表示为:

$$S = \left\{ \sum_{i=1}^n [S_1 \times L_1 + (S_1 + S_2)/2 \times (L_2 - L_1) + \dots + (S_{n-1} + S_n)/2 \times (L_{n-1} - L_{n-2}) + S_n \times (L_n - L_{n-1})] \right\} / L \quad (3)$$

式中: L —— 坡面总长度(m); n —— 沿坡面采样点的个数。

假设坡面顺坡向的径流线的侵蚀强度分异能代表该坡面侵蚀强度的变化, 基于这个假设, 沿径流线的¹³⁷Cs 含量也能代表该坡面¹³⁷Cs 的垂直分异状况。同样, 按照上述平均坡度的求取方法, 可以计算¹³⁷Cs 平均面积浓度(\bar{C}_s), 以代表整个坡面的¹³⁷Cs 平均面积浓度, 其表达式如下:

$$\bar{C}_s = \left\{ \sum_{i=1}^n [C_{s1} \times L_1 + (C_{s1} + C_{s2})/2 \times (L_2 - L_1) + \dots + (C_{s_{n-1}} + C_{s_n})/2 \times (L_{n-1} - L_{n-2}) + \dots + (C_{s_{n-1}} \times (L_n - L_{n-1}))] \right\} / L \quad (4)$$

式中: C_s —— 坡面上各样点处的¹³⁷Cs 面积浓度(Bq/m²); n —— 沿坡面采样点的个数。

3.2 不同耕垦历史的农耕地坡面土壤侵蚀强度分异 从表 2 可见, 随着耕垦时间的增加, 坡耕地土壤侵蚀强度呈增强的趋势。但坡耕地土壤侵蚀模数的大小受开垦历史、地形等因素的影响, 为明确农耕地开垦时间与土壤侵蚀的相关程度, 根据表 2 对侵蚀模数与耕垦时间、坡度、坡长进行偏相关分析见表 2。

表 2 坡耕地侵蚀模数与开垦时间、坡度、坡长的偏相关矩阵

项目	开垦时间	坡度	坡长
样本数	16	16	16
显著水平	0.001	0.062	0.471
相关系数	0.697	0.448	0.182
相关系数/自由度/双尾检验			

从表 2 可以看出, 坡面侵蚀模数与开垦时间高度相关, 相关系数为 0.6966, 显著性水平为 0.1%, 侵蚀模数与坡度的相关系数为 0.4483, 显著性检验的结果是两者不相关的概率是 6.2%, 侵蚀模数与坡长的相关系数最小, 两者不相关的概率是 47.1%。由此可见, 农耕地坡面土壤侵蚀强度主要与其开垦时间有关, 随着坡面开垦时间的增加, 土壤侵蚀强度越大。这一结论与其它研究结果相似。唐克丽等^[10]在子午岭布设的以自然坡面为基础的大型径流观测试验场, 并连续 10a 观测林地开垦后的径流泥沙资料。有关研究结果^[11]表明, 林地开垦耕地后, 随着侵蚀年限的增长, 单位降雨侵蚀力引起的侵蚀量呈明显的增加趋势, 因而土壤侵蚀强度随开垦年限的增长呈增加趋势。由此可见, 开荒种地等人为加速侵蚀增加很可能是黄土高原目前水土流失严重的主要原因。

3.3 ¹³⁷Cs 示踪不同时期耕垦坡面土壤净侵蚀速率

据调查和航片资料判读分析, 燕沟流域坡耕地开垦时间相差很远, 早期开垦的农耕地约在 20 世纪 30—40 年代, 距今 60a 左右的历史, 而最晚开垦的农耕地只有 5a 的时间, 在这 2 个时期内又陆续开垦了一些坡耕地。在燕沟共选取了 10 个时期开垦的 20 个农耕地地块, 按照公式(4)计算各个坡面¹³⁷Cs 的平均浓度, 对不同时期开垦的坡面分别用公式(1)和公式(2)计算侵蚀模数, 流域¹³⁷Cs 的背景值为 2250 Bq/m²(长期稳定农耕地的核素背景值), 1970 年以后开垦的农耕地核素背景值用与其相邻的未扰动地剖面核素含量表示, 计算结果见表 3。由表 3 可知, 不同时期开垦的坡耕地经历了不同程度的土壤流失。

表 3 不同开垦历史的坡耕地坡面土壤侵蚀强度分异

样地号	坡长/m	坡度/(°)	^{137}Cs 含量/($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$)	开垦年限/a	侵蚀模数/ ($\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)	侵蚀强度级别 ¹
7	110	19.3	316.46	60	13 491	极强度侵蚀
8	64	18.0	439.05	60	11 284	极强度侵蚀
9	52	18.2	551.43	60	9 738	极强度侵蚀
10	70	22.6	327.67	60	12 346	极强度侵蚀
11	32	25.4	470.33	60	10 818	极强度侵蚀
12	24	21.9	479.11	60	10 693	极强度侵蚀
38	21	6.4	552.57	50	9 724	极强度侵蚀
34	23	13.1	1 160.50	50	5 382	强度侵蚀
18	70	17.9	162.15	44	17 934	剧烈侵蚀
19	52	13.4	610.67	44	9 043	极强度侵蚀
1	33	23.0	168.02	40	17 735	剧烈侵蚀
2	37	31.6	611.69	40	9 032	极强度侵蚀
21	8	27.3	629.90	35	8 122	极强度侵蚀
5	105	24.6	573.45	30	11 097	极强度侵蚀
6	30	21.8	641.56	30	10 107	极强度侵蚀
3	103	26.0	537.86	20	17 303	剧烈侵蚀
4	15	30.0	257.92	20	26 600	剧烈侵蚀
35	39	25.9	1 664.13	12	8 121	极强度侵蚀
16	34	17.8	2 089.61	9	2 250	轻度侵蚀
33	29	12.6	2 125.85	5	3 679	中度侵蚀

注: ¹ 侵蚀强度级别按水利部颁布的标准。

4 结 论

燕沟流域不同时期开垦的坡耕地坡面土壤侵蚀强度差异明显。根据不同开垦历史的坡面侵蚀模数与开垦时间、坡度、坡长的偏相关分析结果,表明坡耕地侵蚀模数与开垦时间的相关程度最大,其次是坡度,与坡长的相关性不明显,坡面土壤侵蚀强度随开垦年限的增长呈增加趋势。这进一步说明了人为破坏植被、不合理开垦导致的人为加速侵蚀是近代黄土高原水土流失的主要原因。因此,目前黄土高原实施退耕还林政策、大量陡坡耕地被还原为林草地是减少水土流失的一项最根本的措施。

[参 考 文 献]

- [1] 唐克丽,张科利. 黄土高原人类活动对土壤侵蚀的影响 [J]. 人民黄河, 1994, 17(2): 13—16.
- [2] 郑粉莉. 子午岭林区植被破坏与恢复对土壤演变的影响 [J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 41—44.
- [3] 郑粉莉,高学田. 黄土坡面土壤侵蚀过程与模拟 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 2000.
- [4] De. Jong E, Wang C, Rees H W. Soil redistribution on three cultivated New Brunswick hillslopes calculated from ^{137}Cs measurements, solum data and the USLE [J]. Can. J. Soil. Sci. 1986, 66: 721—730.

- [5] Ritchie J C, McHenry J Roger. Application of radioactive fallout Cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: A Review [J]. J. Environ. Qual. 1990, 19: 215—233.
- [6] Wallbrink P J, Murry A S, Olley J M. Determining sources and transit times of suspended sediments in the Murrumbidgee River, New South Wales, Australia, using fallout ^{137}Cs and ^{210}Pb [J]. Water Resources Reseach. 1998, 34(4): 879—887.
- [7] Owens P N, Walling D E, He Q, et al. The use of cesium-137 measurement to establish a sediment budget for the start catchment, Devon, UK [J]. Hydrological Sciences, 1997, 42: 405—423.
- [8] Zhang X, Higgitt D L, Walling D E. A preliminary assessment of the potential for using cesium-137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China [J]. Hydro. Sci. 1990, 35: 267—276.
- [9] 周维芝. ^{137}Cs 法研究不同地貌类型土壤侵蚀强度分异 [C]. 中国科学院、水利部水土保持研究所, 1996 届硕士研究生毕业论文.
- [10] 唐克丽,郑粉莉,张科利,等. 子午岭林区土壤侵蚀与生态环境关系的研究内容与方法 [J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊. 1993. 3—10.
- [11] 查小春,唐克丽. 黄土丘陵林区开垦地土壤侵蚀强度时间变化研究 [J]. 水土保持通报, 2000, 20(2): 5—7.