

^{137}Cs 在黄土高原地区土壤侵蚀示踪中的应用研究

李仁英¹ 杨 浩¹ 赵晓光¹ 唐翔宇²

(1 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008; 2 中国科学院生态环境研究中心 北京 100085)

摘 要 利用 ^{137}Cs 示踪法详细研究了黄土高原地区南沟小流域的土壤侵蚀状况。结果表明: 黄土高原地区不同利用方式下的土壤侵蚀速率都较大, 耕作土壤与非耕作土壤相比由于大部分是坡地种植而具有较高的侵蚀速率。土壤侵蚀速率的空间变异较大且较为复杂。通过对土壤侵蚀类型分类可知, 研究区域大部分属于极强度侵蚀。

关键词 ^{137}Cs ; 黄土高原地区; 土壤侵蚀速率; 利用方式

中图分类号 S157.1

黄土高原丘陵沟壑区是目前世界上土壤侵蚀最强烈、侵蚀危害最严重的地区之一, 具有“土壤侵蚀黑三角”的“美誉”^[1]。而对于面积较小的延安市, 其水土流失面积也达到 2.88 万 km^2 , 占土地总面积的 78%, 土壤侵蚀模数平均在 1 万 t/km^2 以上, 极强度侵蚀区高达 1.8 万 t/km^2 。由于严重的土壤侵蚀, 黄土高原变得千沟万壑, 生态环境十分脆弱。而且严重的土壤侵蚀也加大了黄河中的泥沙量, 从而淤积河床, 洪水及其它灾害频繁发生。因此, 迫切需要了解该地区的土壤侵蚀状况, 准确估算土壤侵蚀速率, 从而为土壤侵蚀的防治提供科学依据。 ^{137}Cs 示踪法由于能较为准确地估算出土壤侵蚀速率而被用于该地区的土壤侵蚀研究。

^{137}Cs 是环境普遍存在的一种重要的放射性同位素, 它是热核实验及 1986 年前苏联切尔诺贝利核电站事故^[3]的副产物, 并非自然界本来就存在的物质。 ^{137}Cs 经干湿沉降到达地表后迅速被土壤粘土矿物和有机质紧密吸附且很难被解吸下来。它在土壤中的含量变化主要由土壤侵蚀及人为的犁耕作用等引起的, 因此, 被广泛应用于估算由水蚀、风蚀及犁耕活动等作用引起的土壤侵蚀状况。

用 ^{137}Cs 示踪法来研究土壤侵蚀状况时, 由于 ^{137}Cs 主要富集在土壤的细小颗粒部分, 因此, 在土壤侵蚀过程中极易发生分选作用, 从而在一定程度上过高估计了土壤侵蚀速率。而中国的黄土高原地区由于其土壤颗粒较细且质地均一, 在土壤的侵蚀过程中无分选作用, 因此, 与其它地区相比更适于 ^{137}Cs 示踪法。

1 材料与方法

土壤样品采自延安市的高坡村, 主要在梁、峁、坡 3 种地貌单元上, 就耕作和非耕作两种利用方式下的土壤采集全样和剖面样。样品风干后, 去除杂物, 研磨过 10 目筛 (2mm) 以用于 ^{137}Cs 的测定。 ^{137}Cs 的测定方法见参考文献[4]。

2 土壤侵蚀速率的估算

利用 ^{137}Cs 示踪法建立的土壤侵蚀定量模型中, 除考虑 ^{137}Cs 的衰变常数、 ^{137}Cs 年沉降分量和土壤样品的采样年份等影响因子外, 还应根据不同利用方式下所受的管理措施及人为影响等因素而建立相应参数。以下就耕作和非耕作这两种利用方式的土壤而分别估算出各自的土壤侵蚀速率。

由于研究区的土壤侵蚀较为强烈, 难以找到既无土壤侵蚀又无沉积的区域, 背景值难以确定。而杨明义等^[5]通过研究得出麦地沟小流域的背景值为 $2266\text{Bq}/\text{m}^2$, 麦地沟小流域与本文研究的南沟小流域距离较近, 地理条件相似, 故本文参考了这一背景值。

在耕作土壤中, 假设 ^{137}Cs 在耕作层中均匀分布的条件下, 结合当地的实际情况, 即耕作土壤的实际耕作层深度, 利用杨浩等^[6]建立的土壤侵蚀定量模型, 估算土壤的侵蚀速率。

对于非耕作土壤, 由于 ^{137}Cs 在土壤中的剖面分布为指数形式, 因此, 可利用 Yang Hao 等^[7]在非耕作土壤中建立的模型来估算土壤侵蚀速率。

3 结果与讨论

3.1 不同利用方式下的土壤侵蚀速率

土壤的利用方式反映了人们对土壤的干扰程度。黄土高原地区由于人为因素的强烈干扰，土壤正遭受着越来越严重的侵蚀。

从表 1 可知，耕作土壤和非耕作土壤中的侵蚀速率都非常大。耕作土壤断面 C，其平均土壤侵蚀速率达到了 $14280 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ，远小于羊道沟综合径流场实测梁峁坡顶部的侵蚀速率 $368 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ，略小于其梁峁坡下部的侵蚀速率 $14700 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[8]。而对于覆盖度较高的 B 断面，其平均土壤侵蚀速率也达到了 $5036 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。由于黄土高原特殊的土壤条件及干燥少雨导致本来就疏松的土壤更加松散等原因，该地区土壤极易遭受暴雨的击溅和冲刷，从而较易随地表径流而流失。加之黄土高原地区，特别是采样区植被稀少，覆盖度非常低，因而导致该研究区具有较高的土壤侵蚀速率。

表 1 不同利用方式下的平均土壤侵蚀速率

Table 1 Soil erosion rate in lands different in land use

项目	采样纵断面				
	A	B	C	D	E
利用方式	小树林	草地	耕作土壤	草地	耕作土壤
平均土壤侵蚀速率*	7816	5036	14280	8344	13520

* 平均土壤侵蚀速率的单位为： $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$

耕作土壤与非耕作土壤相比，前者的年平均土壤侵蚀速率比后者高 1 倍左右（表 1）。这主要由于黄土高原地区的坡耕地及陡坡种植面积较大，而这种种植方式极易使土壤流失。而非耕作土壤由于有植被、杂草等的保护作用，其土壤侵蚀速率相对较

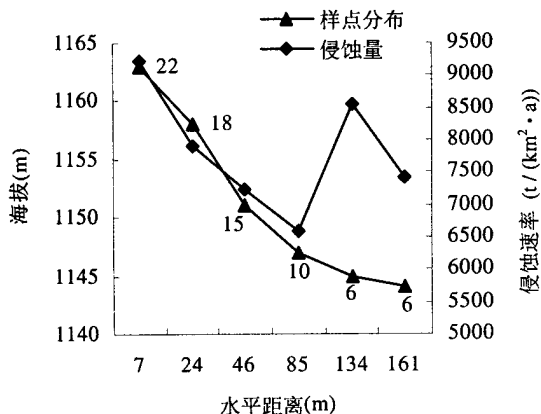


图 1 非耕作土壤中土壤侵蚀量的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of soil erosion rate in uncultivated soil

低。但其土壤侵蚀速率却因利用方式及植被覆盖度不同而具有一定的差异。表 1 显示的 A、B 和 D 断面中，由于 B 断面的草地具有相对较高的植被覆盖度，因此，其土壤侵蚀速率相对较低。对于不同利用方式下的土壤侵蚀速率，周佩华等^[9]经研究得知，农地的土壤侵蚀强度为林地的 62 倍；林地或草地开垦之后，当年侵蚀速率就增加 30 倍；农用撂荒 1 年，侵蚀量即大幅度下降，而与草地相近。在坡度较陡的情况下，农地与林地草地侵蚀量的差异更加显著。

3.2 土壤侵蚀速率的空间分布

图 1 和图 2 是耕作土壤和非耕作土壤中的土壤侵蚀速率的空间分布。图上标记的数字为各采样点的坡度。从这两个图可知，土壤侵蚀速率并不随着坡长的增加简单地增大，而是呈复杂变化。

在非耕作土壤中（图 1），土壤侵蚀速率开始时随着坡长的增加而减少，随后其侵蚀速率增大，当到达坡脚时，由于沉积作用，侵蚀速率有一定的减少。而一般观点认为，土壤侵蚀速率是随着坡长的增加而增加的。之所以出现这种差异主要由于此断面中的各采样点随着坡长的增加坡度减少及不同采样点所处的微地貌不同等原因所致。其中，坡度是影响土壤侵蚀程度的关键因子。据曹银真^[10]研究，黄土丘陵区土壤侵蚀量随着坡度的增大而增加，坡度 $> 15^\circ$ 时，侵蚀量突增，坡面冲刷加剧， 26° 时达极大值。

在研究区域的耕作土壤中（图 2），坡度非常大，一般都 $> 25^\circ$ ，因此，土壤侵蚀速率较高。而且由于土壤受到人为的堆积及人为的扰动和疏松等作用，其侵蚀速率呈不规则地变化。

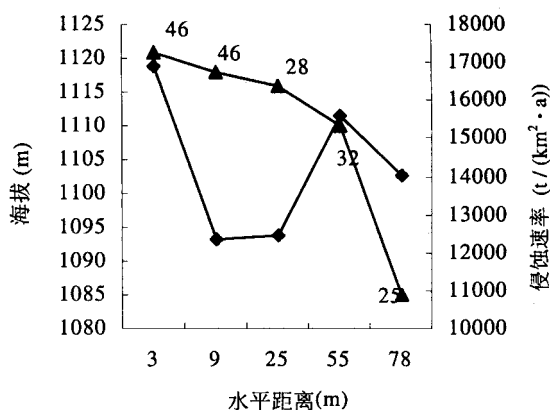


图 2 耕作土壤中土壤侵蚀量的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of soil erosion rate in cultivated soil

3.3 土壤侵蚀类型

我们对强烈的土壤侵蚀作用进行了分类,得出各种侵蚀类型在所有研究侵蚀土壤中所占的比例,结果列于表 2。

从表 2 可知,研究区域大部分土壤剖面(41.7%)属于极强度侵蚀,属于剧烈侵蚀的土壤剖面数也达到了 16.6%,而该研究区域基本上没有微度及轻度侵蚀。

表 2 基于 ^{137}Cs 技术所估算的土壤侵蚀类型
Table 2 Classes of soil erosion estimated with the aid of ^{137}Cs technique

项目	侵蚀类型					
	微度侵蚀 < 1000	轻度侵蚀 1000 ~ 2500	中度侵蚀 2500 ~ 5000	强度侵蚀 5000 ~ 8000	极强度侵蚀 8000 ~ 15000	剧烈侵蚀 > 15000
剖面数	0	0	3	7	10	4
占总剖面数%	0	0	12.5	29.2	41.7	16.6
侵蚀速率平均值*	0	0	4575	6113	11381	15900

* 侵蚀速率单位为: $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$

4 结 论

通过以上论述得出以下结论:

(1) 在不同利用方式下,土壤侵蚀速率具有一定的差异,其中陡坡种植利用方式下的土壤侵蚀速率最大,而覆盖度较高的草地其土壤侵蚀速率最小。

(2) 土壤侵蚀速率在纵断面上的分布并不是随着坡长的增大而增加,而呈复杂变化。

(3) 通过对土壤侵蚀类型分类可知,研究区域大部分属于极强度侵蚀,属于剧烈侵蚀的土壤剖面也达到了 16.6%。

参考文献

- 张翼. 黄土高原丘陵沟壑区土壤侵蚀研究. 水土保持研究, 2000, 7 (2): 39 ~ 47
- 王侠. 依靠科学技术再造延安秀美山川. 水土保持研究, 2000, 7 (2): 2 ~ 3
- De Roo APJ. The use of ^{137}Cs as a tracer in an erosion study in south Limburg (the Netherlands) and the influence of chernobyl fallout. Hydrological Processes, 1991, 5: 215 ~ 227
- 唐翔宇, 杨浩, 曹慧, 赵其国, 李仁英. ^{137}Cs 法估算南方红壤地区土壤侵蚀作用的初步研究. 水土保持学报, 2001, 15 (3): 4 ~ 7
- 杨明义. 多核素复合示踪定量研究坡面侵蚀过程. 中国科学院博士学位研究生学位论文. 2001, 38 ~ 39
- 杨浩, 杜明远, 赵其国, 阳捷行, 八田珠郎. 利用 ^{137}Cs 示踪农业耕作土壤侵蚀速率的定量模型. 土壤学报, 2000, 37 (3): 296 ~ 305
- Yang Hao, Chang Qing, Du Mingyuan, Minami K, Hatta T. Quantitative model of soil erosion rates using ^{137}Cs for uncultivated soil. Soil Science, 1998, 163 (3): 248 ~ 257
- 张信宝, 李少龙, 王成华等. ^{137}Cs 法测算梁峁坡农耕地土壤侵蚀量的初探. 水土保持通报, 1988, 8 (5): 18 ~ 22
- 周佩华, 刘炳武, 王占礼, 郑世清. 黄土高原土壤侵蚀特点与植被对土壤侵蚀影响的研究. 水土保持通报, 1991, 11 (5): 26 ~ 31
- 曹银真. 黄土地区梁峁坡的坡地特征与土壤侵蚀. 地理研究, 1983, 2 (3): 19 ~ 29

APPLICATION OF ^{137}Cs TECHNIQUE TO STUDY OF SOIL EROSION ON LOESS PLATEAU REGION

LI Ren-ying¹ YANG Hao¹ ZHAO Xiao-guang¹ TANG Xiang-yu²

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008;

2 Research Center for Eco-environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085)

Abstract The ^{137}Cs tracing technique was applied to the study of soil erosion in the Nangou watershed on the Loess Plateau. The results showed the soil erosion rate was high in lands under all types of land use on the Loess Plateau. Compared with uncultivated soil, cultivated land suffered higher soil erosion. Based on the special soil properties, the soils in the Loess Plateau ought to be sorted into the class of severe soil erosion.

Key words ^{137}Cs , Loess Plateau, Soil erosion rate, Land use