

文章编号:1001-4810(2006)02-0152-05

# 岩溶山区土壤耕作侵蚀研究

## ——以重庆市中梁山为例<sup>①</sup>

傅瓦利, 贾红杰, 张文晖, 张治伟, 赵俊丽

(西南大学地理科学学院, 重庆 400715)

**摘要:**在岩溶山区采用示踪法证实了锄耕会引起耕作侵蚀。实验结果表明:岩溶山区单次耕作土壤的最大位移距离为1m左右;土壤平均位移距离0.2053~0.2982m,土壤位移量为42.364~61.534kg/m;耕作侵蚀速率为141.21~205.11t/hm<sup>2</sup>,平均侵蚀速率为162.85t/hm<sup>2</sup>;它们都受坡度的影响,而且在相同坡体长度下,都随地块坡度的增加而递增。地块面积较小、坡体较短,地块破碎是岩溶山区土壤耕作侵蚀严重的重要原因。本文还结合岩溶山区特殊的自然环境条件,提出了加强岩溶山区土壤耕作侵蚀研究的必要性和重要意义。

**关键词:**岩溶山区;土壤侵蚀;耕作侵蚀;耕作位移

**中图分类号:**S341.1;S157.1

**文献标识码:**A

## 0 引言

土壤耕作是作物生产的重要的人为方式,也是土壤侵蚀的一个重要原因。我国关于耕作侵蚀的研究起步于上世纪90年代初。在黄土高原张信宝<sup>[1]</sup>用<sup>137</sup>Cs法求算了甘肃西峰的犁耕通量和犁耕剥蚀量;近年来王占礼、邵明安等<sup>[2~4]</sup>做了大量研究,结果表明耕作侵蚀是总土壤侵蚀的重要组成部分<sup>[4]</sup>。在四川盆地,张建辉等<sup>[5~7]</sup>用染色小石子示踪剂法对四川盆地丘陵区土壤耕作侵蚀进行了较为系统的研究;刘刚才<sup>[8]</sup>等则研究了不同耕作方式下的水土流失。

而在占国土面积1/3的岩溶山区<sup>[9]</sup>,虽然一些学者的研究已经确定了人类对土地的不合理利用会造成土壤质量退化<sup>[10~13]</sup>,也有的学者<sup>[14~16]</sup>也认识到人类对土地的耕种会加速水土流失,但是到目前为止还尚未见到关于岩溶山区耕作作用造成土壤侵蚀及其在土壤侵蚀中的贡献的研究报道。

土壤和植被是岩溶环境中最为敏感的自然环境要素,土壤侵蚀是石漠化最直接的影响因素<sup>[17]</sup>。岩溶山区土壤匮乏,宜农土地资源稀缺,坡地开垦耕作会

诱发土壤侵蚀进而导致石漠化。同时岩溶区土壤形成速率十分缓慢,土壤侵蚀量是岩石风化成土量的几十至几百倍<sup>[18]</sup>,而耕作对土壤侵蚀的产生又有重要的影响作用。本文拟以重庆市中梁山为例对岩溶山区耕作侵蚀进行初步的探讨。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 研究区域自然地理条件

实验研究区位于重庆市中梁山(东经106°18'14"~106°56'53",北纬29°39'10"~10°3'53"),在地质构造上为西南地台川东南拗褶带华蓥山阻挡式复背斜扫帚状弧形构造区重庆弧的一部分。组成区内的地层主要是上二叠统、三叠系和侏罗系。岩性以灰岩、页岩、砂岩、泥岩为主。中梁山是温汤峡背斜的一部分。其地貌类型受地质构造和岩性的强烈控制:坚硬的砂岩形成陡峻的两翼;由紫色页岩组成的轴部构成波状起伏丘陵地形;二者之间由灰岩组成,经岩溶作用后形成岩溶槽谷,形成“一山三岭两槽”的构造地貌格局。本文的5个研究实验区域均位于岩溶槽谷中。

<sup>①</sup> 基金项目:国家自然科学基金重点项目(40231008)、西南师范大学博士基金(2003-18)

第一作者傅瓦利(1954-),女,博士,副教授,主要从事土壤地理和土地利用研究。E-mail:fuwali@swu.edu.cn。

收稿日期:2005-12-27

研究区属于中亚热带湿润季风气候,冬暖雾多,相对湿度大;夏季高温多雨,降雨集中。年均温 18℃,海拔 400~500m,年均降水量 1000~1300mm,地带性植被为中亚热带常绿阔叶林。土壤为三叠纪嘉陵江组的石灰岩发育的黄色石灰土,土层厚薄不均,15~100cm。地块面积很小,大部分地块面积小于 15m<sup>2</sup>;坡体较短,大于 10m 的地块少见,小于 3m 的则比比皆

是;坡度相差悬殊,范围为 0~50%,而且在同一地块里坡度不均一、变化很大;地块破碎,地块与母岩相间分布,形成特有的“碗碗土”景观。农业种植制度为麦—玉—苕,一年两熟到三熟。

1.2 试验小区基本情况

根据不同的坡度设置了 5 个试验小区,其具体情况见表 1。

表 1 试验小区基本情况  
Tab.1 The basic conditions of experiment area

| 试验区编号 | 土壤类型  | 坡度 (%) | 坡长 (m) | 土壤容重 (kg/ m <sup>3</sup> ) | 耕作层深度 (m) | 投放示踪剂重量 (g) |
|-------|-------|--------|--------|----------------------------|-----------|-------------|
| 1     | 黄色石灰土 | 3.49   | 2.9    | 1099                       | 0.23      | 500         |
| 2     | 黄色石灰土 | 14.05  | 3.0    | 1052                       | 0.18      | 500         |
| 3     | 黄色石灰土 | 24.93  | 2.8    | 1174                       | 0.17      | 500         |
| 4     | 黄色石灰土 | 34.43  | 2.8    | 1046                       | 0.17      | 500         |
| 5     | 黄色石灰土 | 41.42  | 2.6    | 1298                       | 0.16      | 500         |

1.3 实验方法与布置

本文采用张建辉、李勇等已在四川盆地地区使用的研究方法<sup>[3]</sup>,用灰色小石子(大小为 3~7mm)作示踪剂,采用示踪法<sup>[22]</sup>的原理来测定该区土壤耕作位移,即用耕作之后小石子沿耕作路径的重新分布量来计算土壤向下坡的位移量。示踪小区长 1.00m、宽 0.20m、深 0.16~0.23m,长方体示踪小区的长轴垂直于耕作方向。在不同坡度位置设立 5 个耕作试验小区,在每一小区挖掘较上述长方体规格略大的土坑,将用木板做成的 1.00 m×0.20 m×0.25 m 容积的活动框盒放入坑内。每个实验小区均投放 500g 小石子,把小石子与挖出的土壤均匀混合后按原田间土壤容量回填于框盒内,然后去掉四周木板,按农民传统耕作方式开始从下到上锄耕,耕作路径完全覆盖示踪区。耕作过后从小区基部即示踪小区的上边界开始,以 0.10m 为间距,沿下坡方向连续采集小石子,直到无小石子分布为止。小石子被带回实验室冲洗干净,然后置入烘箱内保持在 60℃ 下烘干、称重。用环刀法测量容重。

1.4 耕作位移和耕作侵蚀的计算

1.4.1 耕作位移

耕作位移<sup>[19]</sup>系指因耕作造成的土壤位置移动,用相对于耕作方向的土壤移动量来表征,即每米耕作宽度的土壤位移量。耕作引起的土壤位移量可依据测得的示踪剂空间分布来计算。Lobb 等<sup>[20,21,5]</sup>根据

移如下计算公式:

$$T_m=\int_0^L(1-C(x)/C_0)M_sdx$$

(1)

式中: $T_m$  为通过小区基线( $x=0$ )的每单位耕作宽度总土壤位移量(kg/m); $C_x$  为耕作后回收小石子重量(kg),是实验区每个 0.10m 间距回收的小石子的总和; $C_0$  为耕作前标记区的小石子重量(kg); $M_s$  为耕作层的土壤比质量(kg/m<sup>3</sup>),是实验区容重与耕作层深度的积; $L$  为取样的最大距离(m)。

根据 Turkelboom、Poesen 等<sup>[22]</sup>人的研究,坡耕地由于顺坡耕作而产生的土壤位移量可由以下公式计算:

$$T_m=D_dD_t\rho_b$$

(2)

式中: $T_m$  为通过小区基线( $x=0$ )的每单位耕作宽度总土壤位移量(kg/m); $D_d$  为土壤平均位移距离; $D_t$  为耕作层深度(m),在这里采用 5 个实验小区耕作层深度的平均值; $\rho_b$  为耕作层的容重(kg/m<sup>3</sup>),在计算时也采用 5 个实验小区耕作层容重的平均值。

1.4.2 耕作侵蚀速率

受耕作工具设计与操作方式、地形和土壤性质等诸多因素的影响,耕作土壤位移会引起景观变化,即耕作位移导致净余土壤的重新分配,即耕作侵蚀。土壤耕作侵蚀速率被定义为单位坡长和单位坡宽沿下坡净土壤位移量<sup>[8]</sup>。在本研究区,由于仅为向下坡方向的单一耕作方向,土壤位移即是净下坡位移。因此,土壤耕作侵蚀速率可表达为:

<sup>137</sup> C<sub>s</sub>示踪计算土壤位移量的方法提出了坡地耕作位

$$R=10T_m/L_d\tag{3}$$

2 实验结果与分析

式中： $R$  单次耕作的土壤耕作侵蚀速率( $\text{t}/\text{hm}^2$ )； $T_m$  耕作引起的土壤位移量( $\text{kg}/\text{m}$ )； $L_d$  给定坡段的长度( $\text{m}$ )<sup>[13]</sup>。

根据表 1 的数据应用公式(2)、(3)计算,得到的实验结果见表 2。

表 2 示踪剂回收率与土壤耕作侵蚀速率及其相关指标

Tab.2 Factors of tracer returns-ratio and tillage erosion rate

| 试验区<br>编 号 | 坡度<br>$G(\%)$ | 示踪回收率<br>$C_x$ | 土壤最大<br>位移距离<br>$D_{\max}(\text{m})$ | 土壤平均<br>位移距离<br>$D_d(\text{m})$ | 土壤位移量<br>$T_m(\text{kg}/\text{m})$ | 耕作侵<br>蚀速率<br>$R(\text{t}/\text{hm}^2)$ |
|------------|---------------|----------------|--------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1          | 3.49          | 0.9784         | 0.78                                 | 0.2053                          | 42.364                             | 141.21                                  |
| 2          | 14.05         | 0.9743         | 0.92                                 | 0.2206                          | 45.521                             | 151.74                                  |
| 3          | 24.93         | 0.9653         | 1.01                                 | 0.2275                          | 46.945                             | 156.48                                  |
| 4          | 34.43         | 0.9672         | 1.19                                 | 0.2322                          | 47.915                             | 159.72                                  |
| 5          | 41.42         | 0.9567         | 1.23                                 | 0.2982                          | 61.534                             | 205.11                                  |

注:耕作侵蚀速率  $R$  为以沿下坡方向坡体长度  $L_d=3\text{m}$  计的单次耕作土壤侵蚀速率

2.1 土壤的最大位移距离

从表 2 实验结果可以看出单次耕作下土壤的最大位移距离也是随坡度的增加而递增,从 0.78m 增加到 1.23m,增加了 0.45m,增幅为 57.69%。

在 5 个实验区内,单次耕作小石子移动的最大位移距离范围为 0.78~1.23m,平均值为 1.026 m,这对于岩溶区地块破碎、坡长只有 3m 左右的耕地的水土保持来说是非常不利,因为在每次耕作中距“碗沿”1m 范围内的每粒土壤都有可能移出“碗沿”然后进入下一个“碗中”或石缝中,而这种过程又是不可逆的,它将造成土壤的永久性流失。显见,地块面积较小、坡体较短、地块破碎是岩溶山区土壤耕作侵蚀较为严重的主要客观因素。

2.2 土壤平均位移距离

研究区内耕作引起的土壤平均位移距离是很明显的,都超过了 0.2m,平均为 0.2368m;而且随着坡度的增大土壤平均位移距离也增加,从 0.2053m 到 0.2982m,增大了 0.0929m,增幅为 45.25%。土壤平均位移距离与地面坡度的关系可由线性方程得到很好的拟合。在 3%~41% 的坡度范围内,土壤平均位移距离与坡度有显著的正相关性(图 1)。

2.3 土壤位移量

由表 2 可知,耕作引起向下坡方向的土壤位移量也受坡度的影响,并随坡度的增加而递增,即位移量由 3%坡度时的 42.364kg/m 增大到 41%坡度的 61.534kg/m,增大了 19.17 kg/m。之所以如此,是因为当农民手工锄耕时,人体面向上坡而朝下坡方向拉动锄头,因而总是发生向下坡方向的土壤移动,坡度

越大土壤受重力作用越容易向下移动。土壤位移量也随坡度而呈线性变化,相关系数  $R^2=0.69245$ (图 2)。

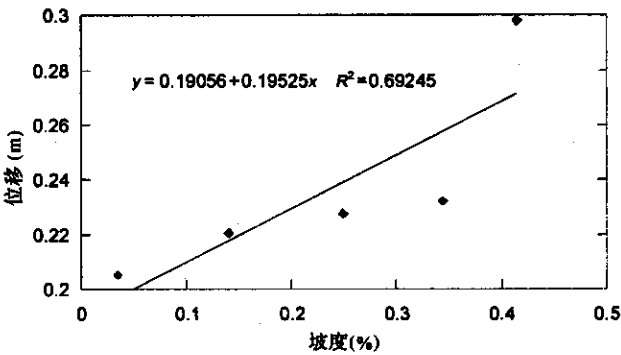


图 1 土壤位移距离与坡度关系图

Fig.1 Mean displacement vs. slope gradient

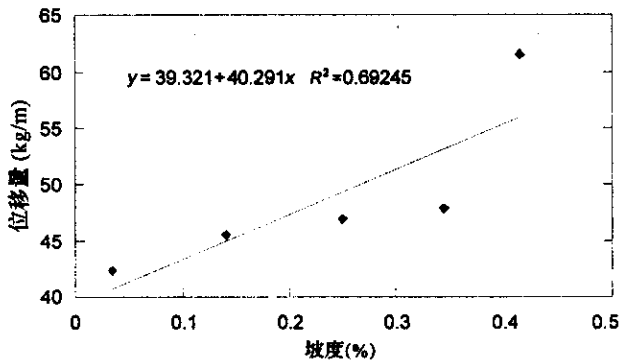


图 2 土壤位移量与坡度关系图

Fig.2 Soil translocation rate vs. slope gradient

### 2.4 耕作侵蚀速率

岩溶山区地块面积较小、坡体较短、坡度不均、地块破碎。大多数地块坡长为 3m 左右,为了使研究具有代表性和实际意义,因此在计算土壤耕作侵蚀速率时地块的坡长以 3m 为准。由方程(3)可知,虽然地块长度在很大程度上影响土壤耕作侵蚀速率,但是坡度对土壤耕作侵蚀速率的影响也是很明显。由表 2 可以看出,在相同地块长度下单次锄耕引起的土壤侵蚀速率随坡度的增加而增加,从 141. 21t/hm<sup>2</sup> 增至 205. 11t/hm<sup>2</sup>,平均耕作侵蚀速率为 162. 85 t/hm<sup>2</sup>。在研究区内每年若以耕作两次计,则耕作侵蚀速率为 325. 7t/hm<sup>2</sup>。如此大的耕作侵蚀速率其危害性是不可忽视的。

锄耕引起的土壤流失在岩溶山区并非不存在,只是过去未被证实,而把它归因于水蚀作用的结果。由于常年采用顺坡方向拉动锄头的耕作方式,使土壤空间分布上发生明显变化,结果是地块上部土层变得很薄,甚至有母岩出露,农民不得不将地块下部堆积的土壤挑到地块上部以补偿移走的土壤。

### 3 结 论

在岩溶山区锄耕会引起耕作侵蚀。地块面积较小、坡体较短、地块破碎,决定了岩溶区土壤耕作侵蚀的严重危害性。虽然地块长度在很大程度上影响土壤耕作侵蚀速率;但在相同坡体长度下,坡度的大小也明显地影响着土壤最大位移距离、土壤平均位移距离、土壤位移量及土壤耕作侵蚀速率;而且它们都随地块坡度的增加而递增。

岩溶山区生态环境脆弱,土壤匮乏,宜农土地资源稀缺,土壤形成速率十分缓慢;因此加强岩溶山区耕作侵蚀的研究,探求合理的耕作制度和土地利用方式,对于促进岩溶区人与环境和谐相处,解决人地矛盾,实现社会经济可持续发展具有重要的现实意义。

### 参考文献

[1] 张信保,李少龙,T. A. Quine,D. E. Walling. 犁耕作用对<sup>137</sup>Cs 法测算农地土壤侵蚀量的影响[J]. 科学通报,1993,38(22):2072—2076.

[2] 王占礼,邵明安,李勇. 黄土地区耕作侵蚀过程中的土壤再分布规律[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(2):168—172.

[3] 王占礼,邵明安. 黄土坡地耕作侵蚀对坡地土壤养分影响的研究[J]. 农业工程学报,2002,18(6):1—5.

[4] 王占礼 邵明安,雷廷武. 黄土区耕作侵蚀及其对总土壤侵蚀贡

献的空间格局[J]. 生态学报,2003,23(7):1328—1335.

[5] 张建辉,李勇,David A Lobb,等. 我国南方丘陵区土壤耕作侵蚀的定量研究[J]. 水土保持学报,2001,15(2):1—4.

[6] Zhang, J. H. , Lobb, D. A. , Li, Y. , Liu, G. C. 2004. Assessment for tillage translocation and tillage erosion by hoeing on the steep land in hilly areas of Sichuan, China[J]. Soil Tillage and Research, 75:99—107.

[7] Zhang J. H. , Frielinghaus, M. , Tian, G. , Lobb, D. A. , 2004. Ridge and contour tillage effects on soil erosion from steep hillslopes in the Sichuan Basin, China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 59(6),277—284.

[8] 刘刚才,高美荣,张建辉,等. 紫色土两种耕作制的产流产沙过程与水土流失观测准确性分析[J]. 水土保持学报 2002,16(4): 108—111.

[9] 袁道先. 中国岩溶动力系统[M]. 北京:地质出版社,2002:1—5.

[10] 李阳兵,谢德体,魏朝富. 岩溶生态系统土壤及表生植被某些特性变异与石漠化的相关性[J]. 土壤学报, 2004,41(2):196—202.

[11] 刘玉,李林立,赵柯,等. 岩溶山地石漠化地区不同土地利用方式下的土壤物理性状分析[J]. 水土保持学报, 2004,18(5): 142—145.

[12] 常凤来,田昆,莫剑锋,等. 滇西岩溶山区土壤生态系统的退化与恢复重建[J]. 西南林学院学报,2004,24(2):7—10.

[13] 董志芬. 中国南方岩溶区石漠化研究[J]. 云南环境科学,2004, 23(增刊1):4—6.

[14] 梁彬,朱明秋,梁小平,等. 湖南洛塔岩溶山区水土流失影响因素分析[J]. 中国岩溶,2004,23(1):8—13.

[15] 杨洪军,金母务哈,赵庭辉,等. 高海拔岩溶石山区草地植被水土流失测定[J]. 四川草原. 2005,(10):1—3.

[16] 吴士章,朱文孝,苏维词,等. 喀斯特地区土壤侵蚀及养分流失定位试验研究——以贵阳市修文县久长镇为例[J]. 中国岩溶, 2005,24(3):202—205.

[17] 李阳兵,王世杰,容丽. 关于中国西南石漠化的若干问题[J]. 长江流域资源与环境,2003,12(6):593—598.

[18] 曹建华,袁道先,潘根兴. 岩溶生态系统中的土壤[J]. 地球科学进展,2003,18(1):37—44.

[19] 李勇,张建辉,罗大卫,等. 耕作侵蚀及其农业环境意义[J]. 山地学报,2000,18 (6):514—519.

[20] Lobb D A, Kachanosk i R G, Miller M H. Tillage translocation and tillage erosion on shoulder slope landscape positions measured using <sup>137</sup>Cs as a tracer[J]. Can. J. Soil Sci. 1995, 75:211—218.

[21] Lobb D A ,Kachanosk i R G, M iller M H. Tillage translocation and tillage erosion in the complex up—land landscapes of southwestern On tario. Canata [J]. Soil Till Res. 1999, 51: 189—209.

[22] Turkelboom, F. , J. Poesen, I. Ohler, K. Van Keer, S. Ongprasert, and K. Vlassak. Assessment of tillageerosion rates on steep slopes in northern Thailand[J]. Catena,1997,29:29—44.

STUDY ON SOIL TILLAGE EROSION IN KARST MOUNTAIN AREA  
—A Case Study in Zhongliangshan, Chongqing

FU Wa-li, JIA Hong-jie, ZHANG Wen-hui, ZHANG Zhi-wei, ZHAO Jun-li  
(School of Resources and Environmental Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** The direct evidences of tillage erosion by hoeing plough in karst area are obtained with tracer technique. The test proves that tillage translocation rates range from 42.364 to 61.534 kg/m, the mean displacement distances range from 0.2053 to 0.2982m, and tillage erosion rates reach 141.21 to 205.11t/hm<sup>2</sup>, mean tillage erosion rate is 162.85 t/hm<sup>2</sup>. They are all affected by slope, and they all increase with the farmland slope even under same slope length. The major reasons for the seriously tillage erosion are that the area of single farmland being too small, the slope body comparatively short and the patches of farmland too dispersed. By combining the special natural conditions in karst mountain area, the necessity and importance in strengthen the research on soil tillage erosion is put forward.

**Key words:** Karst mountain area; Soil erosion; Tillage erosion; Tillage translocation

\*\*\*\*\*

新书介绍

由中国地质科学院岩溶地质研究所韩行瑞研究员等撰写的《中国西北黄土地区典型岩溶水系统研究》日前已由广西师范大学出版社正式出版。

《中国西北黄土地区典型岩溶水系统研究》是在国土资源部“九五”期间为贯彻落实国家开发西部首先要解决水资源问题的战略部署而实施的“资源与环境”科技攻关项目“陕西渭北黄土塬隐伏岩溶区地下水开发利用研究”的基础上写成的。全书主要由第一章自然环境、第二章岩溶发育特征、第三章岩溶水文地质条件、第四章岩溶地下水资源评价、第五章渭北西部黄土塬隐伏岩溶地下水合理开发利用和第六章岩溶地热系统的形成及地热资源潜力评估六部分组成,并附典型岩溶地质、水文地质彩色图片 34 张。该书最大的特点是资料丰富,数据翔实,既有源自野外实践经验的归纳总结,又有基于系统地球科学指导下的岩溶及岩溶地下水系统形成的理论分析探讨。作者通过大范围的野外地质、水文地质调查和大量的岩水化学、同位素样品分析测试及水文动态长期观测资料,并利用均衡法、数值计算、频率计算及模糊数学等方法,对岩溶地下水天然资源量、可采资源量及水质进行了全面的评价,并初步圈定了缺水低山丘陵区找水定井靶区,对渭北黄土塬隐伏岩溶区今后的地下水开发利用具有很强的指导作用,同时也进一步丰富了我国岩溶及岩溶水文地质学的内容。

该书由韦复才和方奕华编辑。全书约 24 万字,160 页,精装,16 开本,定价 60 元/册。有需要者可直接与韩行瑞联系,联系地址:广西桂林市七星路 50 号,邮编 541004;联系电话 13687736303。

(星光 供稿)