

# 岩溶区坡地耕作侵蚀过程中的土壤再分布研究<sup>①</sup>

贾红杰<sup>1,2</sup>, 傅瓦利<sup>\*</sup>

(1 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2 重庆开县农业局, 重庆开县 405400)

**摘要:** 对耕作侵蚀引起的土壤空间再分布进行研究, 有利于改革不合理的耕作方式和治理坡耕地水土流失。本文以重庆市中梁山为例用示踪法对坡耕地进行试验研究。结果表明: 随着坡度的增大, 耕作后示踪剂在示踪区的含量越来越少; 它的最大值出现的位置离基线越来越远, 值越来越小; 沿耕作方向移动的距离越来越远。这种规律性以锄头和铁锹顺坡明显, 等高和踩锹顺坡不明显。从本区耕作侵蚀的角度考虑, 等高耕作方式明显要优于顺坡耕作; 在顺坡耕作中踩锹优于锄头和铁锹。最后还结合岩溶山区特殊的自然环境条件, 讨论了耕作侵蚀对石漠化的影响。

**关键词:** 岩溶区; 耕作侵蚀; 顺坡耕作; 等高耕作

**中图分类号:** S157.1

耕作侵蚀是土壤在耕作工具的直接作用下发生分散、剥离、搬运、沉积的过程<sup>[1]</sup>。在耕作侵蚀过程中, 土壤物质主要在耕地内发生再分布, 并造成不同部位的土壤性质发生变异。在坡地上, 这种再分布则主要表现为坡面土壤的从上向下运动。耕作侵蚀过程中土壤再分布造成的土壤质量变异, 使坡耕地土壤成土过程表现为逆向发育, 是导致坡耕地土壤退化、生产力下降、水土流失严重的根本原因<sup>[1-2]</sup>。而在以往的研究中却忽视了这样一种重要的土壤侵蚀类型。近几年国际上对大型机械工具引起的耕作侵蚀研究颇多<sup>[3-5]</sup>, 我国目前研究区域主要在黄土高原<sup>[1-2, 6]</sup>和四川盆地<sup>[7-9]</sup>, 而关于岩溶区耕作侵蚀的研究则很少。岩溶区土壤匮乏, 宜农土地资源稀缺, 坡耕地的开垦会诱发土壤侵蚀进而导致石漠化。为此本文以重庆市中梁山为例对岩溶区耕作侵蚀引起的土壤空间再分布进行探讨, 对于认识耕作侵蚀及其导致的土壤生产力变异过程, 改革不合理的耕作方式, 治理坡耕地水土流失具有重要意义。

## 1 研究区概况

中梁山位于重庆市区的北面, 属于中亚热带湿润季风气候, 年均温度 18℃, 海拔 500~700 m, 年均降水量 1000 mm 左右。组成区内的地层主要是上二叠系、三叠系和侏罗系; 岩性以灰岩、页岩、砂岩、泥

岩为主。它是观音峡背斜的一部分, 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的丘陵地形; 二者之间由灰岩组成, 经岩溶作用后形成岩溶槽谷, 组成“一山两槽三岭”的构造地貌格局, 本文的试验小区位于岩溶槽谷中。土壤发育的地质背景是三叠纪嘉陵江组的岩溶角砾状白云质灰岩, 土层厚薄不均 (0.15~1 m)。受海拔和地形的限制, 耕地主要分布在山腰、山脚和谷底, 山顶和上部一般是退耕草地和灌丛。由于该山体的坡向与岩层的坡向一致, 水分易沿层面及节理流动, 不断对石灰岩进行溶蚀, 形成石芽、溶沟及溶蚀孔洞, 残积的黄色黏土就停积在这些沟、孔、穴中。土壤四周多由石芽、石块围绕, 如装在石碗中的土一样, 当地群众称为“碗碗土”。山腰“碗”中的地块长度只有 2~4 m, 坡度也比较大; 到了山脚地块可达 5 m 左右, 坡度进一步减小; 再到了槽谷由于地势较为平坦, 再加上从山上堆积下来的土壤, 使地块长度在 5~10 m 之间, 基本上没有坡度。农业种植制度为麦-玉-苕, 一年两熟到三熟。

## 2 试验设计与布置

本文采用张建辉等<sup>[7-9]</sup>在四川盆地已使用的方法, 用灰色小石子 (直径 3~7 mm) 作示踪剂, 根据示踪法<sup>[10]</sup>的原理来测定该区土壤耕作位移, 即用耕作之后

①基金项目: 国家“973”计划课题 (2007CB407201)、黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目 (10501-182) 和重庆市科委项目 (CSTC, 2006EB1040) 资助。

\*通讯作者 (fuwali@swu.edu.cn)

作者简介: 贾红杰 (1983—), 男, 河南杞县人, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: jiahongjie2001@163.com

小石子沿耕作路径的重新分布来表示土壤向下坡的位移量。在不同的坡度设置耕作试验小区, 采用顺坡耕作和等高耕作两种方式, 选取该区常用的铁锹、锄头、踩锹 3 种耕作工具分别进行耕作试验。其中铁锹和锄

头顺坡耕作各设置 10 个试验小区, 它们的等高耕作各设置 6 个, 由于踩锹不存在等高耕作, 故只设置了 6 个顺坡, 计 38 个试验小区, 各试验小区的基本情况见表 1。

表 1 试验小区基本情况

Table 1 Basic conditions of experiment plots

工具	顺坡耕作					等高耕作				
	坡度 (%)	耕作层 (m)	体积质量 ( $\text{kg/m}^3$ )	含水量 (g/kg)	回收率 (%)	坡度 (%)	耕作层 (m)	体积质量 ( $\text{kg/m}^3$ )	含水量 (g/kg)	回收率 (%)
锄头	6.99	0.21	1287	265.8	96.21	3.49	0.18	1071	215.0	96.64
	9.63	0.21	1323	244.9	96.40	10.51	0.18	1268	220.3	94.56
	12.28	0.22	1425	293.7	97.81	15.84	0.17	1223	243.1	95.96
	14.05	0.19	1302	241.6	98.13	21.26	0.15	1224	148.3	98.18
	14.95	0.21	1416	236.3	94.20	26.79	0.18	1117	217.8	94.52
	20.35	0.19	1284	254.9	97.38	34.43	0.15	1238	231.5	98.84
	21.26	0.18	1352	269.6	92.50					
	26.79	0.18	1477	233.3	96.38					
	34.43	0.17	1429	243.2	92.25					
	41.42	0.16	1276	251.1	94.82					
铁锹	1.75	0.22	1052	320.2	98.03	3.49	0.19	1129	214.5	97.96
	10.51	0.18	1046	231.1	96.16	12.28	0.19	1222	263.6	98.52
	14.05	0.18	1239	269.6	95.37	14.05	0.19	1334	238.3	97.94
	17.63	0.18	1206	296.4	97.10	17.63	0.20	1293	207.4	99.18
	19.44	0.17	1363	251.7	95.89	21.26	0.18	1219	255.8	99.26
	23.09	0.18	1221	266.5	96.12	26.79	0.17	1062	164.6	99.06
	24.01	0.20	1330	263.4	95.10					
	24.93	0.18	1285	175.3	99.85					
	32.49	0.18	1382	260.8	97.60					
	41.42	0.16	1102	261.9	96.10					
踩锹	1.75	0.18	1017	290.2	98.12					
	7.87	0.15	1222	255.0	93.52					
	12.28	0.15	1139	197.8	95.20					
	17.63	0.15	1001	220.0	96.85					
	23.09	0.17	1010	298.2	92.32					
	32.49	0.15	1161	229.9	90.86					

顺坡耕作试验的示踪小区长 0.50 m、宽 0.20 m、深 0.15 ~ 0.25 m, 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 0.50 m × 0.20 m × 0.25 m 容积的活动框放入坑内。每个试验小区均投放 1000 g 小石子, 把小石子与挖出的土壤均匀混合后按原田间土壤体积质量回填于框盒内, 然后去掉四周木板, 沿顺坡方向从下到上耕作, 耕作路径完全覆盖示踪区。耕作后从小区上坡槽壁开始以 0.10 m 为间距, 分区间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。在等高耕作试验中, 试验小区则为长 0.50 m、宽 0.10 m、深 0.15 ~ 0.25 m, 投放小石子 500 g, 耕作方向与等高线一致, 其余步骤与顺坡试验相同。

### 3 结果分析与讨论

从表 1 可知, 38 个试验小区的示踪剂即片状小石子的回收率范围在 90.86% ~ 99.85% 之间, 而且大部分回收率大于 95%, 平均为 96.34%, 变异系数 2.25%,

它们并没有随着坡度、耕作工具和耕作方式的变化而发生显著变化。本文选取具有代表性的几个试验小

区进行分析讨论，其示踪剂空间分布情况见图 1、图 2。

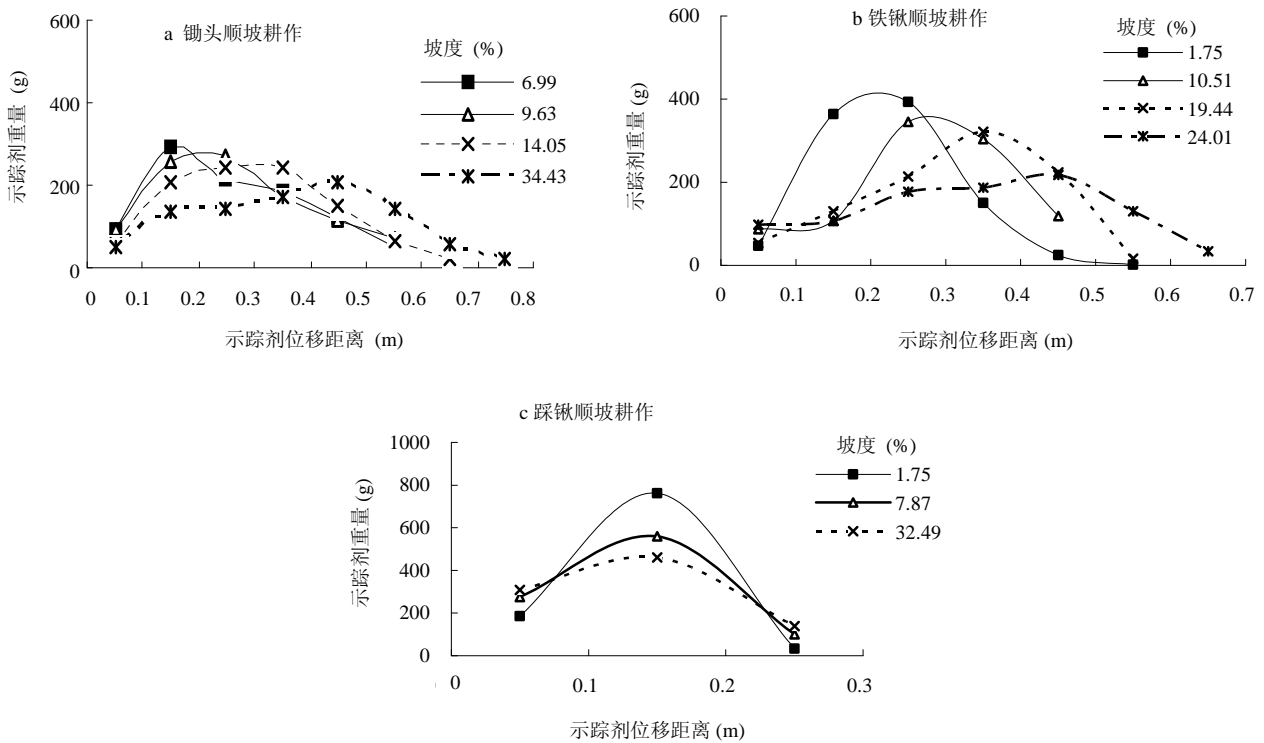


图 1 顺坡耕作示踪剂空间分布图

Fig. 1 Tracer spatial distribution of downslope tillage

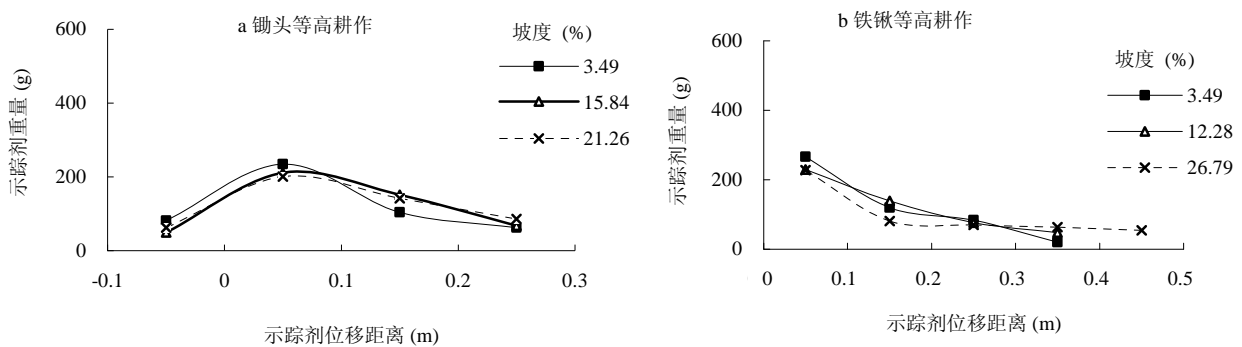


图 2 等高耕作示踪剂空间分布图

Fig. 2 Tracer spatial distribution of contour tillage

### 3.1 耕作对土壤移动影响

从图 1、2 中可以看出单次耕作后，示踪剂沿耕作方向发生了变化，在不同坡度上的地块，无论采用哪种工具和方式，耕作以后示踪剂回收量在示踪区都有所下降，这表明耕作以后土壤在原位置显著减少。其中以踩锹的下降最小，这主要与它的工作原理密切相关，它是一种窄而长的耕作工具，在耕作

时并不像锄头和铁锹那样把土翻动起来，而是只对土壤起一个松动作用，耕作时土粒会向上移动和向两旁滑落。虽然示踪区的示踪剂有所下降，不过它们在整个耕作路径中仍保持较高的水平，甚至是整个路径的最高值，如锄头、铁锹等高耕作和踩锹顺坡耕作。示踪剂在示踪区回收量的显著下降说明耕作引起了土壤的向下坡方向移动，使土壤在上坡侵蚀，下坡堆

积。

耕后土壤向下坡的移动程度与地块的坡度也有一定关系, 耕后示踪区的示踪剂回收量与坡度回归模型见表 2。从表 2 可知, 锄头耕作和铁锹顺坡耕作以后示踪区示踪剂回收量与坡度有较为显著的相关性, 而铁锹等高耕作和踩锹耕作则不明显。这种差异除了与

耕作工具和耕作方式有关以外, 还可能与试验小区的数目少有关。回归模型中斜率大小依次为: 锄头顺坡 > 铁锹顺坡 > 踩锹顺坡 > 锄头等高 > 铁锹等高, 可以看出坡度对顺坡耕作的影 响要大于等高耕作, 在顺坡耕作中坡度对锄头和铁锹的影响大于踩锹, 在等高耕作中坡度对锄头的影 响大于铁锹。

表 2 耕后示踪区示踪剂回收量与坡度回归模型

Table 2 Regression models between tracer concentration and slope

耕作方式与工具	样本	回归方程	<i>r</i>	显著水平
锄头顺坡	10	$G = -5.4324 S + 394.02$	0.85065	$p < 0.01$
铁锹顺坡	10	$G = -4.9255 S + 308.14$	0.70271	$p < 0.05$
踩锹顺坡	6	$G = -3.7058 S + 929.68$	0.66257	$p > 0.1$
锄头等高	6	$G = -3.1245 S + 253.09$	0.87864	$p < 0.05$
铁锹等高	6	$G = -1.7591 S + 256.44$	0.70979	$p > 0.1$

注: *G* 表示耕后示踪区示踪剂回收量 (g), *S* 表示坡度 (%)。

### 3.2 土壤最大移动量

不同耕作工具和耕作方式下示踪剂回收量的最大值出现的位置不同, 也就是土壤在耕作以后最大移动量因耕作工具和方式而别。在锄头和铁锹顺坡耕作中土壤移动最大量出现的位置随坡度的增大而离基线越来越远, 范围在距基线 0.1 ~ 0.5 m 之间; 以锄头顺坡为例, 从图 1 可知在坡度为 6.99%、9.63%、14.05%、34.43% 的 4 个试验小区内示踪剂回收量最大值分别出现在 0.1 ~ 0.2 m、0.2 ~ 0.3 m、0.3 ~ 0.4 m、0.4 ~ 0.5 m 之间。在等高耕作和踩锹顺坡耕作过程中示踪剂回收量的最大值都出现在示踪区内, 并没有随着坡度的

增加而离基线越来越远。

从图 1、2 可知不同耕作工具和耕作方式下示踪剂回收量的最大值随着坡度的增大有下降的趋势, 表明土壤最大移动量与坡度呈负相关。从表 3 中可知, 耕后示踪剂回收量最大值与坡度的相关性以锄头和铁锹耕作较为显著, 以铁锹顺坡为例, 在坡度为 1.75%、10.51%、19.44%、24.01% 的 4 个试验小区内回收量最大值分别是 393、345.5、321.3 和 218 g。同样由于耕作工具和耕作方式及试验小区数目的原因, 等高耕作和踩锹耕作以后示踪剂回收量最大值与坡度的相关性不显著 (表 3)。

表 3 示踪剂回收量最大值与坡度回归模型

Table 3 Regression models between the maximum tracer and slope

耕作方式与工具	样本	回归方程	<i>r</i>	显著水平
锄头顺坡	10	$G = -2.9594 S + 301.21$	0.90989	$p < 0.001$
铁锹顺坡	10	$G = -3.0701 S + 360.85$	0.66385	$p < 0.05$
踩锹顺坡	6	$G = -5.6036 S + 671.72$	0.39013	$p > 0.1$
锄头等高	6	$G = -2.1855 S + 242.71$	0.76812	$p < 0.05$
铁锹等高	6	$G = -1.7591 S + 256.44$	0.70979	$p > 0.1$

注: *G* 表示耕后示踪剂最大回收量 (g), *S* 表示坡度 (%)。

### 3.3 坡度与土壤的分散情况

锄头和铁锹顺坡耕作中, 随着坡度的增大, 土壤主要分布的范围有越来越大的趋势 (图 1)。以锄头顺坡为例, 在坡度为 6.99%、9.63%、14.05%、34.43% 的 4 个试验小区内, 示踪剂分别主要集中在距基线 0.1 ~

0.3 m、0.1 ~ 0.4 m、0.3 ~ 0.5 m、0.1 ~ 0.6 m 之间。而等高耕作和踩锹顺坡耕作中示踪剂随着坡度的分散趋势并不明显。

锄头和铁锹顺坡耕作后示踪剂向前移动的最大距离随坡度增大而增大 (图 3), 表明二者耕后土壤向前

移动的最大距离与坡度呈正相关。二者的回归方程为：锄头顺坡  $L = 0.0079 S + 0.5393$ ,  $r = 0.93701$ ,  $p < 0.001$ ; 铁锹顺坡为  $L = 0.0083 S + 0.5056$ ,  $r = 0.81902$ ,  $p < 0.01$  ( $L$  表示距基线的最大位移距离  $m$ ,  $S$  表示坡度  $\%$ )。以锄头顺坡为例, 在坡度为 6.99%、9.63%、14.05%、34.43% 的 4 个试验小区内, 示踪剂相对于基线向前移动最大距离分别为 0.6、0.6、0.7、0.8  $m$ 。在 1.75% ~ 34.43% 坡度范围内, 踩锹顺坡和锄头等高耕作引起的最大位移距离都为 0.3  $m$ , 铁锹等高为 0.4  $m$ 。这主要是由于这 3 种耕作方式引起的土壤位移距离都比较小造成的。

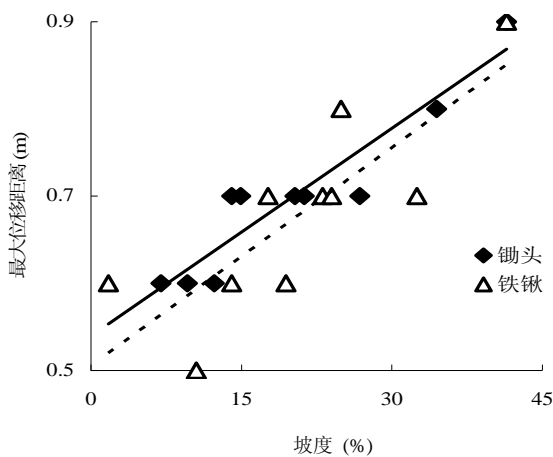


图 3 顺坡耕作土壤最大位移距离与坡度相关性

Fig. 3 Relationships between maximum displacement of hoe and shovel in downslope tillage and slope

#### 3.4 耕作及耕作侵蚀对石漠化的影响

把山腰和山脚的坡耕地看成一个整体, 年复一年的耕作使坡地的土壤“丢失”到石缝中或进入下一块耕地, 同样它也可以得到上面耕地侵蚀的堆积, 这样除了最上面的坡耕地是侵蚀以外, 下面所有的地块在侵蚀和堆积过程中都保持一种土壤的相对动态平衡。长期的耕作侵蚀使山腰处最上面的坡耕地土壤总量减少, 心土层出露, 土层变薄, 土壤的蓄水能力、抗蚀性下降, 容易加速水力侵蚀。本区是亚热带气候, 降水丰富, 山体的中下部本身就是水力侵蚀最强烈的区域, 水力侵蚀、耕作侵蚀及其引起的土壤退化, 三者综合作用使山腰处的坡耕地成为土壤侵蚀最严重的地方。随着侵蚀加剧、养分流失, 土层变得超薄 (0.15 ~ 0.3  $m$ ), 农民不得不弃耕。弃耕以后, 植被又难以恢复, 地表覆盖很低, 土壤的不断侵蚀使岩石大面积裸

露, 成为石漠化最先发生和最严重的地带。

#### 4 结论

耕作以后土壤在原位置显著减少, 但在整个耕作路径中仍保持较高水平。随着坡度的增大, 在锄头和铁锹顺坡耕作中土壤在原来位置量越来越少; 土壤最大移动量出现的位置离基线越来越远, 并且越来越小; 土壤移动的最大距离也越来越远, 它们与坡度的相关性比较显著。而在等高和踩锹顺坡耕作中这种规律性表现不明显。从本岩溶区耕作侵蚀的角度考虑, 等高耕作方式明显要优于顺坡耕作; 在顺坡耕作中踩锹优于锄头和铁锹。岩溶区坡耕地的开垦是石漠化发生的一个诱因。

#### 参考文献:

- [1] 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. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2): 168-172
- [2] 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. 生态学报, 2003, 23(7): 1328-1335
- [3] Riksen MJPM, Goossens D. Tillage techniques to reactivate aeolian erosion on inland drift-sand. Soil & Tillage Research, 2005, 83: 218-236
- [4] Alba SD, Borselli L, Torri D, Pellegrini S, Bazzoffi P. Assessment of tillage erosion by mouldboard plough in Tuscany (Italy). Soil & Tillage Research, 2006, 86: 123-142
- [5] Sheng L, Lobb DA, Lindstrom MJ. Tillage translocation and tillage erosion in cereal-based production in Manitoba, Canada. Soil & Tillage Research, 2007, 94: 164-182
- [6] 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. 农业工程学报, 2002, 18(6): 63-67
- [7] 张建辉, 李勇, David AL, 张建国. 我国南方丘陵区土壤耕作侵蚀的定量研究. 水土保持学报, 2001, 15(2): 1-4
- [8] Zhang JH, Lobb DA, Li Y, Liu GC. Assessment for tillage translocation and tillage erosion by hoeing on the steep land in hilly areas of Sichuan, China. Soil & Tillage Research, 2004, 75: 99-107
- [9] Zhang JH, Frielinghaus M, Tian G, Lobb DA. Ridge and contour tillage effects on soil erosion from steep hillslopes in the Sichuan Basin, China. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 59(6): 277-284
- [10] Lobb DA, Kachanoski RG, Miller MH. Tillage translocation and tillage erosion on shoulder slope landscape positions measured using  $^{137}\text{Cs}$  as a tracer. Canada Journal Soil Science, 1995, 75: 211-218

## On Soil Redistribution Induced by Tillage Erosion in Karst Area

JIA Hong-jie<sup>1, 2</sup>, FU Wa-li<sup>1</sup>

(1 *School of Geography Science, Southwest University, Chongqing 400715, China*; 2 *Agricultural Bureau of Kaixian County, Chongqing 405400, China*)

**Abstract:** Study on soil redistribution by tillage erosion can reform the irrational farming methods and control sloping farmland erosion. A research on tillage experiment with tracer method on sloping farmland was conducted in karst area of Zhongliang-mountain in Chongqing city, the results showed that the tracer concentration in tracer district decreased after farming, but still remained high level. With the increase of the slope gradient, the tracer concentration in the tracer district decreased and the maximum concentration occurred not only farther from the baseline but also became lower; the shift distance of tracer became longer along the tillage direction. Those above-phenomena were more obvious in hoe or shovel downslope tillage than those of contour tillage and trample-shovel downslope tillage. Taking tillage erosion into consideration, contour-tillage method obviously is superior to downslope tillage, and trampling-shovel method is superior to hoe and shovel in downslope tillage. The impact of tillage erosion on the rocky desertification was also discussed by combining the conditions of natural environment in Karst mountain area in the paper.

**Key words:** Karst area, Tillage erosion, Downslope tillage, Contour tillage