

# 黄土区耕作侵蚀及其对总土壤侵蚀贡献的空间格局

王占礼, 邵明安, 雷廷武

(西北农林科技大学、中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100)

**摘要:**耕作能直接造成大量的土壤向坡下运动,却在以往土壤侵蚀研究中被忽视。为了定量评价耕作侵蚀以及在坡耕地土壤侵蚀中的重要性,通过耕作侵蚀示踪试验及铯-137 示踪的方法对黄土区耕作侵蚀及其对总土壤侵蚀贡献的空间格局进行了研究,取得了如下结果:(1)一次耕作造成的单宽土壤搬运量为 23.60~45.68kg/m,并从坡地上部和下部向中部逐渐变大;(2)耕作侵蚀强度主要集中在 700~2000 t/km<sup>2</sup> 和 -1200~-2000 t/km<sup>2</sup> 之间,分别发生在坡地凸型和凹型部位;(3)总土壤侵蚀强度主要集中在 2600~8900 t/(km<sup>2</sup>·a)和 -2750~-3390 t/(km<sup>2</sup>·a)之间,分别发生在坡地凸型部位与凹型部位的上部及坡地凹型部位的下部;(4)耕作侵蚀占总土壤侵蚀的百分比,主要集中在 10%~28%、-27%~-398%和 36%~54%之间,从坡顶向坡底,依次分布在两种侵蚀皆呈侵蚀的部位、耕作侵蚀呈沉积而总土壤侵蚀呈侵蚀的部位及两种侵蚀皆呈沉积的部位。结果表明,耕作侵蚀是黄土区坡耕地的一种重要的土壤侵蚀,是总土壤侵蚀的重要组成部分,水土保持工作中应充分考虑耕作侵蚀及其对总土壤侵蚀贡献的空间格局。

**关键词:**黄土区;耕作侵蚀;总土壤侵蚀;空间格局;示踪;耕作搬运;贡献

## Spatial patterns of tillage erosion and its contribution to total erosion in loess region of China

WANG Zhan-Li, SHAO Ming-An, LEI Ting-Wu (State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China), *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(7): 1328~1335.

**Abstract:** Tillage implements can cause a large amount of downhill movement of soil, but it is neglected in the past research on soil erosion. To quantitatively evaluate tillage erosion and its importance to soil erosion on sloping cultivated land, authors study the spatial patterns of tillage erosion and its contribution to total erosion in the loess region of China by conducting a tillage experiment and using <sup>137</sup>Cs tracing method. Tillage manner is animal powered contour plowing and tillage depth is about 16cm on study site. Slope length and slope gradient are about 30m and about 4°~29° respectively, and slope profile is convexity in the upper segment and concavity in the lower segment on study site. In the tillage experiment, the small cubes with volume of 1cm<sup>3</sup> and specific gravity of 1.15 g/cm<sup>3</sup> is used as tracers. In

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(49871051);黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金资助项目(02-B004);中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX3-SW-442);陕西省人事厅留学基金资助项目

**收稿日期:**2002-07-01; **修订日期:**2003-01-14

**作者简介:**王占礼(1960~),男,陕西人,研究员,主要从事土壤侵蚀研究。E-mail:zwang@nwsuaf.edu.cn

**Foundation item:** the National Natural Science Foundation, (No. 49871051); the Foundation of State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, (No. 02-B004); the Projects Supported by Innovation Engineering of CAS(No. KZCX3-SW-442) and the Foundation of Personnel Bureau of Shaanxi Province

**Received date:** 2002-07-01; **Accepted date:** 2003-01-14

**Biography:** WANG Zhan-Li, Professor, main research field: soil erosion.

$^{137}\text{Cs}$  tracing method, the space for soil sampling is about 3m. Study shows that soil flux per tillage operation is 23.60~45.68 kg/m on study site. The segments of study site with soil flux less than 30.00 kg/m, between 30.00 and 40.00 kg/m, and greater than 40.00 kg/m account for 25.08%, 37.27%, and 37.65% of the whole slope respectively, and distribute in the upper and the lower parts, the upper middle and the lower middle parts, and the middle part of sloping land respectively. The spatial variation of slope gradient with projected slope length determine the spatial variation of soil flux per tillage operation with the projected length. Tillage erosion intensities mainly range from 700 to 2000 t/km<sup>2</sup>. The eroded area accounts for 43.92% of the sloping land, distributing on the convexity. Tillage deposition intensities mainly range from 1200 to 2000 t/km<sup>2</sup>. The deposition area accounts for 43.92% of the sloping land, distributing on the concavity. Erosion and deposition are not observed in the transition position from convexity to concavity. The spatial variation of topography curvature with projected slope length determine the spatial variation of tillage erosion intensity with projected slope length. The total erosion intensities mainly range from 2600 to 8900 t/(km<sup>2</sup>·a). The total erosion area accounts for 81.24% of the sloping land, distributing on the convexity and the upper segment of concavity. The total deposition intensities mainly range from 2750 to 3390 t/(km<sup>2</sup>·a). The total deposition area accounts for 18.76% of the sloping land, distributing on the lower segment of concavity. The average total soil loss intensity is 4445.33 t/(km<sup>2</sup>·a) and the sediment delivery ratio is 0.91. The integrated effect of slope gradient, slope length and topography curvature is responsible for spatial variation of total soil erosion intensity, and the relationship can be described by a linear equation of three variables. The spatial variation of percentage of tillage erosion intensity over total soil erosion intensity with projected slope length differs greatly in the 3 segments of sloping land. The first segment distributes on convexity of study site where both the tillage operation and the integrated erosion force produce net erosion. The percentages mainly range from 10% to 28% and the area accounts for 54.25% of the whole sloping land. The second segment distributes on the upper part of concavity where tillage operation causes soil deposition, but the integrated erosion force produces net erosion. The percentages mainly range from -27% to -398% and the area accounts for 34.86% of the whole sloping land. The third segment distributes on the lower part of concavity where both the tillage operation and the integrated erosion force produce soil deposition. The percentages mainly range from 36.54 to 54% and the area accounts for 10.89% of the whole sloping land. The results show that tillage erosion is one of important soil erosion processes and one of important components of total erosion on sloping cultivated land in the loess region of China. Great attention should be paid to the spatial patterns of tillage erosion and its contribution to total erosion in the soil conservation management.

**Key words:** loess region; tillage erosion; total erosion; spatial patterns; tracing; tillage translocation; contribution

文章编号:1000-0933(2003)07-1328-08 中图分类号:S157.1 文献标识码:A

土壤侵蚀是全球性的严重环境问题。20 世纪以来,世界各国投入了巨大的精力进行土壤侵蚀研究及治理工作,关注的对象主要是水蚀与风蚀,而忽略了耕作侵蚀。

国际上新近开始研究的耕作侵蚀是指坡地土壤物质由于耕作机具的直接作用而发生向坡下的运动。在坡地耕作侵蚀过程中,土壤物质主要在坡耕地地块内发生空间上的再分布。由于地表起伏,坡地不同部位土壤发生的这种再分布必然是不均匀的。在年复一年的长期耕作侵蚀过程中,大量的土壤向坡下运动,产生相当可观的不均匀的净侵蚀,使坡地土壤质量不断退化,土壤抗侵蚀能力不断降低,土壤侵蚀强度日益加剧,并表现出一定的空间变异性。黄土区是我国农业文明的发祥地,经历了历史悠久的耕作侵蚀,目前坡耕地的土壤质量很差,土壤侵蚀非常严重。因此,本文的目的是通过示踪研究揭示该区耕作侵

蚀及其空间变化规律,正确评价该区耕作侵蚀对总土壤侵蚀的贡献及其空间分布特征,以便重新认识坡面土壤侵蚀过程,进一步完善坡面侵蚀理论,为该区有效治理坡耕地土壤侵蚀和实现土壤可持续利用提供科学依据。

国际上虽然有文献记载的耕作侵蚀研究可追溯到 20 世纪 40 年代初<sup>[1]</sup>,但主要研究于 20 世纪 90 年代初才开始<sup>[2, 3]</sup>。国内对它的研究还刚刚起步<sup>[4~9]</sup>。在过去的 10 多年间,国外对耕作侵蚀及其有关影响的研究主要在顺坡机耕条件下进行<sup>[10~13]</sup>,泰国学者及我国张建辉等在人拉犁耕条件下进行过研究<sup>[5, 14]</sup>。本研究是在黄土区长期广泛采用的牛拉铧式犁横坡耕作条件下进行的。

## 1 材料与方法

### 1.1 耕作侵蚀示踪试验

**1.1.1 试验地条件** 试验地位于陕西安塞,属于典型黄土丘陵沟壑区,在黄土区具有代表性。试验地海拔约 1430m,坡长约 30m,坡向近东,坡型呈上凸下凹型,坡面无横向起伏与倾斜,最大坡度为 30°左右,最小坡度为 0°。土壤为黄绵土,颗粒组成以粉粒级为主,含量为 53.9%~74.8%。当地农作制为一年一熟,以秋作物为主,耕作方式为畜力横坡犁耕。试验之前,该地已经撂荒一年,试验时耕层土壤较紧实,土壤容重达 1.30g/cm<sup>3</sup>,土壤含水量为 10.01%。

**1.1.2 试验方法** 试验的目的是为了获得不同坡度条件下耕作造成的耕层土壤运动距离,以便通过进一步计算,对耕作侵蚀速率进行定量评价。试验中将刻上号码的有机玻璃方块用作示踪材料,用以示踪耕作造成的土壤运动。每个示踪方块的大小为 1×1×1cm<sup>3</sup>,比重为 1.15g/cm<sup>3</sup>,大体接近于耕层土壤容重。试验的坡度为顺着试验地坡面纵剖面分别选择的 0°、5°、10°、15°、20°、25°和 30°的 7 个坡段。在每个坡度的坡段,顺坡开挖长约 110cm,宽约 10cm,深约 15cm 的矩形土槽,在每个土槽中,将示踪方块自下而上逐层逐个地施放,施放完第一层后,对施放的每个方块都分别用经纬仪及测距仪精确测定它们的上面中心位置,测毕后在该层的上面埋一层土,再施放第二层,并再用同样的方法测定第二层上每个方块的位置,如此反复,直至完成全部土槽断面示踪方块的施放及位置测量。在各个坡段的断面上,每层的各个示踪方块水平间距约 10cm,每层施放 11 个,各层间的垂直间距约 5cm,由地表向下施放 4 层,这样,每个坡度坡段的土层中施放 44 个,7 个坡度坡段的土层中总共施放 308 个方块。全部示踪方块施放毕后,采用当地长期广泛采用的牛拉铧式犁,在坡面上按传统的耕作方式自下而上进行往返横坡等高耕作,且往返耕作均将土壤向坡下犁翻。犁耕深度约 16cm,犁耕宽度 15cm,耕后立即从被犁耕的土壤层中细心地挖出每个示踪方块,并同时再用经纬仪及测距仪精确测量每个方块被移动后的位置。经清点,每个坡段上示踪方块的回收率均大于 95%。最后通过计算,获得各个示踪方块的运动距离。

### 1.2 研究地块总土壤侵蚀的<sup>137</sup>Cs示踪

<sup>137</sup>Cs 是 20 世纪中叶大气核试验产生的,系全球分布的一种人工放射性核素,<sup>137</sup>Cs 降落地表后被表层土壤的粘粒强烈吸附,并主要伴随土壤颗粒的侵蚀、搬运和沉积而运动,是研究土壤侵蚀很有价值的一种示踪元素<sup>[15]</sup>。通过比较非侵蚀地与邻近侵蚀地上土壤中<sup>137</sup>Cs 含量的变化,可以定量评价侵蚀地上各种侵蚀动力造成的总土壤侵蚀。本示踪的目的就是为了获得研究地块的总土壤侵蚀强度及其空间变化。

**1.2.1 研究地块** 选择的研究地块与耕作侵蚀示踪试验地相邻,并具有与耕作侵蚀示踪试验地基本相同的条件。地块的主要地形特征为投影坡长约 30m,坡型呈上凸下凹型,坡面无横向起伏与倾斜,坡度处于 4°~29°之间。为了对研究地块的地形特征进行准确量化,按照 1.5m×1.5m 的间距对该地块的纵剖面用经纬仪及测距仪进行了精确测量。测量结果(各测点的方位角、垂直角和斜距离)计算后,获得该研究地块纵剖面各点的投影坡长和相应的高度为表 1。

**1.2.2 样点布设与样品采集** 基于研究地块无横向起伏与倾斜,选择了一条纵向剖面线进行采样,并使各采样点均位于地形测量纵剖面线上。顺坡面每隔 3.0m 斜坡长布设一个样点,并在坡顶及坡底附近各加设一个样点,所有样点位置都有经纬仪及测距仪精确测量记录(地形测量与采样同时进行)。采样土钻内径为 9cm,采样深度 30cm,取土壤剖面全样,从坡顶到坡底总共取样 13 个。为确保土壤剖面中含有的<sup>137</sup>Cs 都被取到,分别在侵蚀和沉积最大的部位按 5 cm 间隔取剖面分层样进行了测定。参考点采样在研究地

块附近林地水平位置处,林地约有 42a 的历史。

表 1 研究地块纵剖面的地形特征

Table 1 Topography of slope profile on study site

投影坡长(m)	高度(m)	投影坡长(m)	高度(m)	投影坡长(m)	高度(m)
Projected slope length	Height	Projected slope length	Height	Projected slope length	Height
0.993	10.415	12.302	7.814	23.136	2.698
2.239	10.413	13.780	7.207	24.339	2.173
3.726	10.286	15.139	6.540	25.766	1.779
5.203	10.157	16.386	5.916	27.440	1.376
6.695	9.820	17.751	5.243	28.760	1.144
8.192	9.458	19.037	4.582	30.205	0.906
9.687	8.901	20.539	3.877	30.255	0.842
11.014	8.410	21.876	3.267		

1.2.3 样品测定 采集的样品经风干过筛(孔径 1mm),剔除草根,取 500g 供测试,测试使用  $\gamma$  能谱仪,在 661.6keV 处测定  $^{137}\text{Cs}$  全峰面积,测量时间为 8h。

1.2.4 总土壤侵蚀计算 通过张信宝研究获得的下列公式计算<sup>[15]</sup>:

$$X=Y_R\left(1-\frac{\Delta H}{H}\right)^{N-1963}$$

(1)

式中, $X$  为土壤中采样时的  $^{137}\text{Cs}$  浓度( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ); $Y_R$  为  $^{137}\text{Cs}$  背景值( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ); $\Delta H$  为年土壤流失深度(m); $H$  为耕层深度(m); $N$  为采样时的年份。

2 结果与分析

2.1 坡面纵剖面模型

将野外测量和计算得到的研究地块坡面纵剖面地形数据表 1 按照 logistic 模型进行拟合,获得描述该剖面的方程为:

$$z=\frac{11}{1+ae^{bx}}\quad r^2=0.9992\quad n=23\quad f=27506.58>F_{0.01}=8.02$$

(2)

式中, $z$  为高度(m); $x$  为投影坡长(m); $a$ 、 $b$  为待定系数,分别等于 0.033345 和 0.195388。

检验结果表明,式(2)很好地描述了研究地块坡面纵剖面。

2.2 耕作搬运强度及其空间变化

2.2.1 耕作搬运模型 耕作造成土壤的运动是耕作侵蚀的表现形式之一,主要导致不同距离及不同深度范围的土壤物质发生混合和重新组合,这里用耕作搬运的术语进行表述。

对使用小立方块作为示踪材料进行耕作侵蚀示踪试验观测的结果,通过比较耕作前后各个示踪方块的空间位置,计算出每个示踪方块朝坡向方向的水平运动距离,再通过求平均值分别计算出每个坡度断面示踪方块朝坡向方向的平均水平运动距离,并分别乘以耕层深度和土壤容重,可获得每个坡度条件下的单宽耕作搬运土量。图 1 显示了单宽耕作搬运土量和坡度之间的关系。经相关分析,一次耕作造成的单宽土壤搬运模型为:

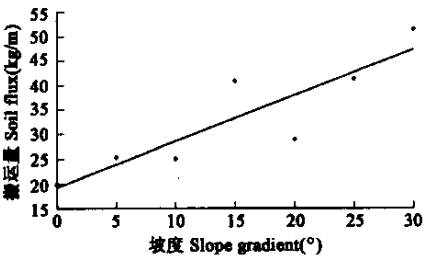


图 1 土壤搬运量与坡度的关系  
Fig. 1 Relationship between soil flux per tillage operation and slope gradient

万方数据

$$q=0.9347s+19.30\quad r^2=0.78\quad n=7\quad \alpha=0.01$$

(3)

式中, $q$  为一次耕作造成的单宽土壤搬运量( $\text{kg}/\text{m}$ ); $s$  为坡度( $^\circ$ )。

2.2.2 耕作搬运强度及其空间变化 求式(2)导数的反函数,并代入式(3)得,研究地块上一次耕作造成的单宽土壤搬运量随投影坡长的空间变化模型为:

$$q = 19.30 + 0.9347 \arctg \left( \frac{-0.0717e^{bx}}{(1 + ae^{bx})^2} \right) \tag{4}$$

式中, $q$  为研究地块上一次耕作造成的单宽土壤搬运量(kg/m); $x$  为投影坡长(m); $a$ 、 $b$  分别等于 0.033345 和 0.195388。

用式(4)计算出研究地块各点一次耕作造成的单宽土壤搬运量,该搬运量随投影坡长的空间变化为图 2。

由式(3)知,一次耕作造成的单宽土壤搬运量只受坡度的影响,所以,图 2 显示的搬运量随投影坡长的空间变化是由坡度随投影坡长的空间变化决定的。

分析表明,该地块一次耕作造成的单宽土壤搬运量达到 23.60~45.68kg/m,平均为 35.54kg/m。其中,搬运量小于 30.00kg/m 的坡段占地块面积的 25.08%,分布在地块的最上段和最下段,分别处于投影坡长约为 0.99~6.44m 和 28.37~30.26m 的范围,坡度范围分别为 4.6~11.4°和 11.4~8.5°;搬运量为 30.00~40.00kg/m 的坡段占地块面积的 37.27%,分布在地块的中上段和中下段,分别处于投影坡长为 6.44~11.9m 和 22.92~28.37m 的范围,坡度范围分别为 11.4~22.2°和 22.2~11.4°;搬运量大于 40.00kg/m 的坡段占地块面积的 37.65%,分布在地块的中段,处于投影坡长 11.9~22.92m 的范围,坡度范围为 22.2~28.2~22.2°。

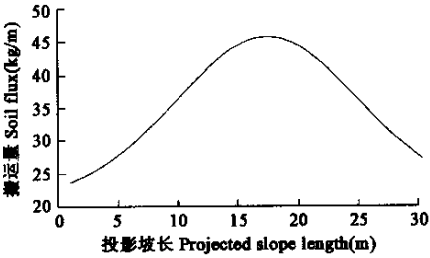


图 2 研究地块耕作搬运量的空间变化

Fig. 2 Spatial variation of soil flux per tillage operation on study site

2.3 耕作侵蚀强度及其空间变化

耕作造成的点土壤净侵蚀或流失是耕作侵蚀的另一种表现形式,这里直接用耕作侵蚀的术语进行表述,其中,净输出仍然表述为侵蚀,净输入则表述为沉积。

在本文的系列研究中,已在耕作侵蚀试验基础上,通过理论推导建立了黄土区耕作侵蚀模型<sup>[6]</sup>:

$$\frac{\partial q_{(x,z)}}{\partial x} = -0.2379rh \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \tag{5}$$

式中, $\frac{\partial q_{(x,z)}}{\partial x}$  为坡面任意一点( $x,z$ )的次耕作侵蚀强度(kg/m<sup>2</sup>); $r$  为耕层平均土壤容重(kg/m<sup>3</sup>); $h$  为耕层深度(m); $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$  为坡面任意一点( $x,z$ )处的曲率(m/m<sup>2</sup>)。

求式(2)的二阶导数,将该二阶导数连同研究地块耕层土壤容重及耕层深度代入式(5)并经单位换算得出,研究地块上一次耕作造成的耕作侵蚀强度随投影坡长的空间变化模型为:

$$t_r = \frac{-692.9102e^{bx}}{(1 + ae^{bx})^2} \left( \frac{0.06669e^{bx}}{1 + ae^{bx}} - 1 \right) \tag{6}$$

式中, $t_r$  等于  $\frac{\partial q_{(x,z)}}{\partial x}$ ,为研究地块任意一点的次耕作侵蚀强度(t/km<sup>2</sup>); $x$  为投影坡长(m); $a$ 、 $b$  分别等于 0.033345 和 0.195388。

用式(6)计算出研究地块各点次耕作侵蚀强度,该强度随投影坡长的空间变化见图 3。

由式(5)知,坡面任意一点的次耕作侵蚀强度主要受控于相应点的地形曲率,即该点的坡度变化率,所以,图 3 显示的耕作侵蚀强度随投影坡长的空间变化是由地形曲率随投影坡长的空间变化决定的。

分析表明,该研究地块的耕作侵蚀强度主要集中在 700~2000 t/km<sup>2</sup> 之间,平均为 1371.89t/km<sup>2</sup>,占地块面积的 56.52%;耕作造成的沉积强度主要集中在 1200~2000 t/km<sup>2</sup> 之间,平均为 1485.71 t/km<sup>2</sup>,占地块面积的 43.92%;耕作造成的地块平均土壤流失强度为 116.83 t/km<sup>2</sup>,泥沙输出比为 0.15;侵蚀发生在地块的

凸型部位,处于投影坡长为 0.99~17.40m 的范围,地形曲率范围为 $-0.0145\sim 0.00\text{ m/m}^2$ ;沉积发生在地块的凹型部位,处于投影坡长为 17.40~30.25m 的范围,地形曲率范围为 $0.00\sim 0.0248\text{ m/m}^2$ ;零侵蚀与沉积发生在地块的凸凹型过渡部位,处于投影坡长为 17.40m 的位置,地形曲率为 $0.00\text{ m/m}^2$ 。

## 2.4 总土壤侵蚀强度及其空间变化

各种侵蚀动力造成的点土壤净侵蚀,这里直接用总土壤侵蚀的术语进行表述,其中,净输出仍然表述为侵蚀,净输入则表述为沉积。

将研究地块各采样点土壤中 $^{137}\text{Cs}$ 浓度、 $^{137}\text{Cs}$ 背景值、耕层深度及采样年份代入张信宝的模型式(1)中进行计算与单位换算<sup>[15]</sup>,获得各点的总土壤侵蚀强度。将地块各点总土壤侵蚀强度点绘在图 4,并配以拟合曲线。经相关分析,总土壤侵蚀强度随投影坡长的空间变化可用抛物线方程描述:

$$e_r = 7541.73 + 197.99x - 19.04x^2 (r^2 = 0.93 \quad n = 13 \quad f = 63.34 > F_{0.01} = 7.56) \quad (7)$$

式中, $e_r$ 为总土壤侵蚀强度( $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ); $x$ 为投影坡长(m)。

分析表明,研究地块的总土壤侵蚀强度主要集中在 $2600\sim 8900\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 之间,平均为 $6035.31\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,占地块面积的 81.24%;总土壤沉积强度主要集中在 $2750\sim 3390\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 之间,平均为 $2440.32\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,占地块面积的 18.76%;地块平均总土壤流失强度为 $4445.33\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,总泥沙输移比为 0.91;总土壤侵蚀发生在坡地的凸型部位及凹型部位的上部,处于投影坡长为 0.99~24.76m 的范围;总土壤沉积发生在坡地凹型部位的下部,处于投影坡长为 24.76~30.25m 的范围。

总土壤侵蚀是由各种侵蚀动力造成的侵蚀,在研究区,风蚀可以忽略,总土壤侵蚀实际上包括了水蚀和耕作侵蚀。研究地块上总土壤侵蚀出现空间差异的原因主要由地形特征的差异引起,其中坡度与坡长(影响坡面汇流)主要影响水蚀,地形曲率主要影响耕作侵蚀。式(8)很好地描述了总土壤侵蚀受这三个因素影响的关系:

$$e_r = 6960.75 + 189.40s - 378.04x - 27435.23 \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \quad (r^2 = 0.95 \quad n = 13 \quad f = 55.49 > F_{0.01} = 6.55) \quad (8)$$

式中, $e_r$ 为总土壤侵蚀强度( $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ); $s$ 为坡度( $^\circ$ ); $x$ 为投影坡长(m); $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$ 为地形曲率( $\text{m}/\text{m}^2$ )。

## 2.5 耕作侵蚀对总土壤侵蚀的贡献及其空间分布

将采用 $^{137}\text{Cs}$ 示踪法获得的研究地块各采样点总土壤侵蚀强度与通过耕作侵蚀模型计算获得的各相应点耕作侵蚀强度(研究区一年耕作一次,次耕作侵蚀强度与年耕作侵蚀强度相等)相除,得到各点耕作侵蚀占总土壤侵蚀的百分比。

研究地块耕作侵蚀占总土壤侵蚀百分比随投影坡长的空间分布见图 5。该百分比随投影坡长的空间分布,可通过研究地块总土壤侵蚀随投影坡长的空间变化模型与耕作侵蚀随投影坡长的空间变化模型相除

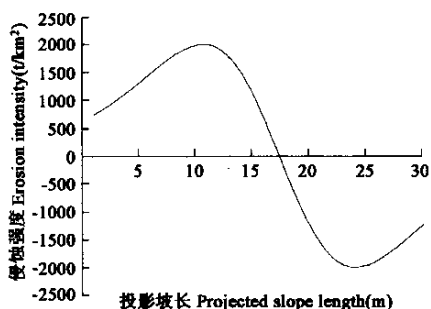


图 3 研究地块耕作侵蚀的空间变化

Fig. 3 Spatial variation of tillage erosion on study site

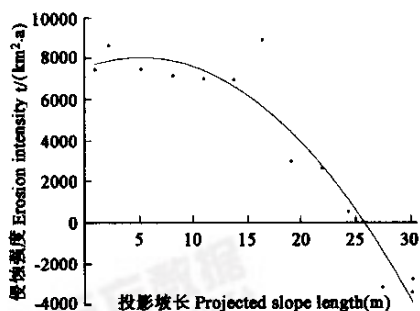


图 4 研究地块总土壤侵蚀的空间变化

Fig. 4 Spatial variation of total erosion on study site



来描述:

$$te_r = \frac{t_r}{e_r} \times 100\% \tag{9}$$

式中,  $te_r$  为研究地块点耕作侵蚀占总土壤侵蚀百分比(%) ;  $t_r$  为研究地块点耕作侵蚀强度 ( $t/(km^2 \cdot a)$ ) , 由式(6)计算;  $e_r$  为研究地块点总土壤侵蚀强度 ( $t/(km^2 \cdot a)$ ) , 由式(7)计算。

计算分析表明, 研究地块耕作侵蚀占总土壤侵蚀的百分比, 在两种侵蚀皆呈侵蚀的部位, 主要集中在 10%~28% 之间, 平均为 19.04%, 占地块面积的 54.25%, 发生在坡地的凸型部位, 处于投影坡长为 0.99~16.86m 的范围; 在两种侵蚀皆呈沉积的部位, 主要集中在 36%~54% 之间, 平均为 42.93%, 占地块面积的 10.89%, 发生在坡地凹型部位的下部, 处于投影坡长为 27.08~30.25m 的范围; 在耕作侵蚀表现为沉积, 而总土壤侵蚀又表现为侵蚀的部位, 耕作沉积占总土壤侵蚀的百分比主要集中在 -27%~-398% 之间, 平均为 -125.44%, 占地块面积的 34.86%, 发生在坡地凹型部位的上部, 处于投影坡长为 16.86~27.08m 的范围。

3 结论

- (1)耕作侵蚀是黄土区坡耕地一种重要的土壤侵蚀类型。耕作能造成各坡位土壤运动, 并产生净侵蚀, 其搬运量和侵蚀强度大小的空间变化分别取决于坡度及地形曲率的变化。
- (2)由于耕作侵蚀的存在, 在风蚀可以忽略的地区, 不能将坡耕地土壤侵蚀只归因于水蚀的作用。研究区坡耕地的总土壤侵蚀是由耕作与水力作用共同产生的, 其侵蚀强度大小的空间变化取决于坡度、坡长及地形曲率的综合影响。
- (3)研究区耕作侵蚀占总土壤侵蚀的百分比沿坡面明显地分为 3 段, 两种侵蚀的组合形式与侵蚀强度的比值在 3 个坡段上互不相同。因此, 坡耕地水土保持工作中应将耕作侵蚀及其对总土壤侵蚀贡献的空间格局予以考虑。

References:

[ 1 ] Mech S J and Free G A. Movement of soil during tillage operations. *Agric. Eng.*, 1942, **23**: 379~382.

[ 2 ] Lindstrom M J, Nelson W W, Schumacher T E, *et al.* Soil movement by tillage as affected by slope. *Soil & Tillage Research*, 1990, **17**: 255~264.

[ 3 ] Lindstrom M J, Nelson W W, Schumacher T E. Quantifying tillage erosion rates due to mouldboard plowing. *Soil & Tillage Research*, 1992, **24**: 243~255.

[ 4 ] Zhang X B, Li S L, Quine T A, *et al.* Effects of plow tillage on soil erosion measured with  $^{137}Cs$  on cultivated land. *Chinese Science Bulletin*, 1993, **38**(22): 2072~2076.

[ 5 ] Zhang J H, Li Y, David A Lobb, *et al.* Quantifying tillage translocation and tillage erosion in Hilly Areas of Sichuan. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, **15**(2): 1~4.

[ 6 ] Wang Z L, Shao M A. Modeling on tillage erosion in loess region of China. *Transactions of the CSAE*, 2001, **17** (1): 53~57.

[ 7 ] Wang Z L, Shao M A, Li Y. Study on the soil redistribution induced by tillage erosion in loess region of China. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, **8**(2): 168~172.

[ 8 ] Wang Z L, Shao M A. Effects of tillage erosion on soil nutrients in loess sloping land of China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2002, **18**(6): 63~67.

[ 9 ] Wang Z L. An advance on research project of tillage erosion. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, **21**

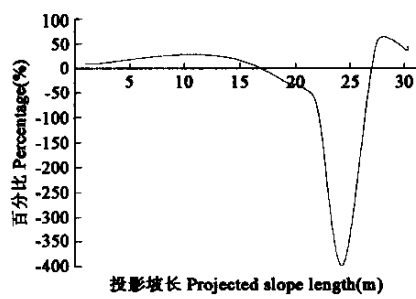


图 5 研究地块耕作侵蚀占总土壤侵蚀百分比的空间分布  
Fig. 5 Spatial distribution of percentage of tillage erosion over total erosion on study site

(1): 34.

- [10] Govers G, Quine T A, Desmet P J J, *et al.* The relative contribution of soil tillage and overland flow erosion to soil redistribution on agricultural land. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1996, **21**: 929~946.
- [11] Lindstrom M J, Schumacher J A, and Schumacher T E. TEP: A tillage erosion prediction model to calculate soil translocation rates from tillage. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, **55**(1): 105~108.
- [12] Lobb D A, Kachanoski R G, Miller M H. Tillage translocation and tillage erosion in the complex upland landscapes of southwestern Ontario, Canada. *Soil Tillage Research*, 1999, **51**: 189~209.
- [13] Quine T A, Govers G, Poesen J, *et al.* Fine-earth translocation by tillage in stony soils in the Guadalentin, South-east Spain; an investigation using Caesium-137. *Soil and Tillage Research*, 1999, **51**: 279~301.
- [14] Turkelboom F, Poesen J, Ohler I, *et al.* Reassessment of tillage erosion rates by manual tillage on steep slopes in northern Thailand. *Soil and Tillage Research*, 1999, **51**: 245~259.
- [15] Zhang X B, Higgitt D L and Walling D E. A preliminary assessment of potential to use  $^{137}\text{Cs}$  to estimate the rates of on soil erosion in the Loess Plateau of China. *Geochemistry*, 1991, **20**(3): 212~218.

#### 参考文献:

- [4] 张信保, 李少龙, Quine T A, 等. 梨耕作用对 $^{137}\text{Cs}$ 法测算农地土壤侵蚀量的影响. 科学通报, 1993, **38**(22): 2072~2076.
- [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. 水土保持学报, 2001, **15**(2): 1~4.
- [7] 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.
- [8] 王占礼, 邵明安. 黄土坡地耕作侵蚀对土壤养分影响的研究. 农业工程学报, 2002, **18**(6): 63~67.
- [9] 王占礼. 耕作侵蚀研究项目进展. 水土保持通报, 2001, **21**(1): 34.
- [15] 张信保, 赫吉特 D L, 沃林 D E.  $^{137}\text{Cs}$  法测算黄土高原土壤侵蚀速率的初步研究. 地球化学, 1991, **20**(3): 212~218.

## 欢迎订阅 2004 年《作物学报》

《作物学报》是中国科学技术协会主管、中国作物学会和中国农业科学院作物育种栽培研究所共同主办、科学出版社出版的有关作物科学的全国性学术刊物。主要刊登国、内外农作物遗传育种、耕作栽培、生理生化、生态、种质资源、谷物化学、贮藏加工以及与农作物有关的生物技术、生物数学、生物物理、农业气象等领域以第一手资料撰写的学术论文、研究报告、简报以及专题综述、评述等。读者对象是从事农作物科学研究的科技工作者、大专院校师生(包括研究生)和具有同等水平的专业人士。

《作物学报》2004 年由双月刊改为月刊, 96 页/期, 定价: 20 元/册, 全年 240 元。可通过全国各地邮局订阅, 邮发代号: 82-336。也可向编辑部直接订购。

编辑部地址: 北京市海淀区中关村南大街 12 号中国农科院作物所《作物学报》编辑部(邮编 100081)。刊号: CN11-1809/S 联系电话: 010-68918548, 传真: 010-68975212

银行汇款: 北京农行海淀北下关分理处; 帐户: 中国作物学会; 帐号: 801181-98。

E-mail: xbwz@chinajournal.net.cn; zwx301@mail.caas.net.cn